

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Tribotechnická diagnostika gravitačního lícího stroje

Tribotechnical Diagnostics of Gravity Casting Machine

Student:

Štěpán Pravda

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Štěpán Pravda**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Tribotechnická diagnostika gravitačního lícího stroje**
Tribotechnical Diagnostics of Gravity Casting Machine
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Čistota oleje je jedním z důležitých faktorů ovlivňujících životnost celého zařízení. Současně z otěrových částic, z jejich množství, morfologie (tvaru) a chemického složení lze určit poškozený nebo opotřebený konstrukční uzel, případně o jaký druh poruchy nebo poškození se jedná. Zabývejte se proto metodami tribodiagnostiky a jejich aplikací na gravitační lící stroje. Proveďte potřebná měření a vyhodnocení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6.

HRADECKÝ, F., VLK, M. *Tribotechnika*. 1. vydání, Praha : SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 297 s.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

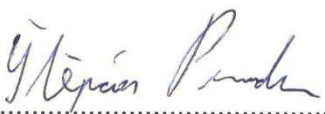


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 17.5.2018



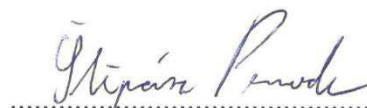
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17.5.2018



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Štěpán Pravda

Adresa trvalého pobytu autora práce: Krmelínská 19, 720 00, Ostrava-Hrabová

Poděkování

Chtěl bych touto formou poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Blatovi Ph.D. za vstřícnou pomoc a cenné rady, které jsem od něj získal v rámci tvorby této práce. Také bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu během celé doby mého studia.

Anotace

PRAVDA, Š. *Tribotechnická diagnostika gravitačního lícího stroje: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 56 s. Vedoucí práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá tribodiagnostikou gravitačního lícího stroje. V teoretické části práce jsou uvedeny informace o stroji a o běžně používaných hydraulických kapalinách. Teoretická část končí pátou kapitolou, ve které nalezneme základní informace týkající se diagnostiky hydraulických obvodů. Praktická část je rozdělena do dvou kapitol. Ta první z nich se zaměřuje na výsledky laboratorních rozborů vzorků olejů. Ta druhá je věnována termovizním měřením.

Annotation

PRAVDA, Š. *Tribotechnical Diagnostics of Gravity Casting Machine: Bachelor's thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 56 p. Thesis head: Ing. Jan Blata, Ph.D.

The bachelor's thesis deals with tribodiagnosics of a gravity casting machine. In the theoretical part there is information about the machine and about commonly used hydraulic fluids. Teoretical part ends with the fifth chapter in which we find basic information about diagnostics of hydraulic drive systems. The practical part consists of two chapters. The first one of them focuses on results of laboratory analysis of oil samples. The second one is dedicated to thermovision measurements.

Obsah

Seznam použitých zkratek a jednotek.....	11
Úvod.....	12
1 Firma Brembo	13
1.1 Brembo Czech s.r.o.	14
2 Gravitační lití hliníku	15
2.1 Popis procesu gravitačního lití	15
2.1.1 Základní rozdělení podle druhu formy:.....	15
2.1.2 Gravitační lití do trvalých forem.....	15
2.1.3 Formy pro gravitační lití	16
2.1.4 Plnění formy a tuhnutí kovu.....	17
2.2 Gravitační lící centra od firmy Gauss Automazione Srl	17
2.2.1 Gravitační lící centrum Gauss ve firmě Brembo.....	18
3 Hydraulická jednotka CPMS 500 2x30.....	19
3.1 Popis.....	19
3.2 Parametry stroje a charakteristiky provozního prostředí.....	20
3.3 Provoz a údržba hydraulické jednotky	21
3.3.1 Výměna náplně a plnění nádrže hydraulické jednotky	21
3.3.2 Údržba filtračního systému a výměna filtrů:	21
4 Hydraulické kapaliny	22
4.1 Rozdělení hydraulických kapalin	22
4.1.1 Voda	22
4.1.2 Minerální oleje	22
4.1.3 Význam jednotlivých doplňujících písmen:	23

4.1.4	Charakteristiky výkonových tříd.....	23
4.2	Těžkozápalné kapaliny.....	24
4.2.1	HFAE A HFAS kapaliny.....	25
4.2.2	HFB kapaliny	25
4.2.3	HFC kapaliny	25
4.2.4	HFDR a HFDU kapaliny.....	26
4.3	Ekologicky příznivé hydraulické kapaliny.....	27
4.3.1	HTG kapaliny.....	27
4.3.2	HPG kapaliny	27
4.3.3	HE kapaliny.....	27
5	Diagnostika hydraulických systémů.....	28
5.1	Tribodiagnostika hydraulických systémů.....	28
5.2	Měřené parametry hydraulických kapalin.....	29
5.2.1	Viskozita	29
5.2.2	Kód čistoty	29
5.2.3	Obsah vody.....	29
5.2.4	Číslo kyselosti	30
5.2.5	Infračervená spektrometrie.....	30
5.2.6	Rentgenová spektrometrie.....	30
6	Tribodiagnostika gravitačního lícího stroje.....	31
6.1	Odběr vzorků pro analýzu.....	31
6.1.1	Postup odběru vzorků oleje	33
6.2	Fyzikálně chemické parametry oleje – výsledky měření	34

6.2.1	Kinematická viskozita	34
6.2.2	Hmotnostní obsah vody.....	35
6.2.3	Číslo celkové kyselosti.....	36
6.2.4	Kód čistoty podle ČSN ISO 4406/99	37
6.2.5	Kód čistoty podle NAS 1638	38
6.2.6	Snímky filtrů	40
6.2.7	FTIR analýza	41
6.2.8	Prvková analýza pomocí ED-XRF	43
6.3	Závěr tribodiagnostického měření.....	46
7	Termovizní měření hydraulické jednotky	47
7.1	Výměník tepla	47
7.2	Termovizní měření výměníku tepla	48
7.2.1	Výměník tepla u stroje Isola β.....	48
7.2.2	Výměník tepla u stroje Isola V.....	49
7.3	Závěr termovizního měření	51
8	Závěr	52
	Seznam zdrojů.....	53
	Seznam obrázků	54
	Seznam tabulek	55
	Seznam příloh	56

Seznam použitých zkratk a jednotek

s.r.o.	společnost s ručením omezeným
kW	kilowatt, jednotka výkonu
°C	stupeň celsia, jednotka teploty
VI	viskozitní index
ppm	parts per milion, jedna miliontina celku
FTIR	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
ml	mililitr, jednotka objemu
l	litr, jednotka objemu
cm ⁻¹	jednotka vlnového čísla
cm ² ·s ⁻¹	jednotka kinematické viskozity
TAN	total acid number, číslo celkové kyselosti
mg KOH/g	jednotka čísla celkové kyselosti
IČ	zkratka pro infračervené záření
peak	vrchol/nejvyšší bod
m.s ⁻¹	metr za sekundu, jednotka rychlosti

Úvod

Předmětem této bakalářské práce je provedení komplexní tribotechnické diagnostiky hydraulického systému gravitačního licího stroje. Pomocí příslušných tribodiagnostických metod tak budu moci určit jak technický stav stroje, tak i stav a vlastnosti jeho provozní náplně, tj. hydraulického oleje.

Sledování stavu bude prováděno u dvou gravitačních licích strojů (Isola β a Isola V), které jsou v současné době provozovány ve firmě Brembo Czech s.r.o. a bude probíhat v horizontu 6 měsíců. K odběrům vzorků oleje bude docházet každý druhý měsíc. Celkem tak proběhnou tři odběry. Během této doby by měly být stroje v takřka nepřetržitém provozu, což mi umožní zjistit nejen stávající stav oleje, ale i jeho dlouhodobou odolnost vůči výraznému tepelnému a mechanickému namáhání.

V neposlední řadě se hodlám zaměřit na problémy spojené s údajným přehříváním daného hydraulického oleje. Provedu vyhodnocení stavu současného chladicího systému u obou strojů a případně i doporučení pro jeho zefektivnění. Pro tyto účely použiji termovizní měření.

Cílem této bakalářské práce je vyhodnocení výsledného technického stavu stroje, respektive jeho hydraulického systému. Za použití příslušných metod (např. FTIR analýzy) pak budu moci porovnat jednotlivé vzorky odebraných olejů a určit úroveň jejich degradace, přítomnost mechanických nečistot atp. v závislosti na délce jejich provozu.

1 Firma Brembo

Firma Brembo byla založena roku 1961 v Itálii. V současné době se zabývá převážně výrobou brzdových komponent pro osobní vozy a motocykly. Firma zahájila svou činnost dodávkou brzdových kotoučů pro italské vozy Alfa Romeo a rychle se tak dostala do povědomí předních italských výrobců automobilů.

V 70. letech rozšířila svou produkci a začala vyrábět brzdové systémy pro motocykly Moto Guzzi. Posléze upevnila svou pozici díky smlouvě s automobilkou Ferrari, jenž jí umožnila vybavit prestižní závodní vozy kategorie Formule 1 právě jejich brzdami.

V 80. a 90. letech započala firma Brembo expanzi na světový trh s osobními vozy. Jako jedna z prvních vyráběla, v tehdejší době revoluční, hliníkové brzdové třmeny, které zajišťovaly snížení hmotnosti brzdového systému a také lepší odvod tepla při brždění. Tento systém se posléze stal standardem pro většinu světových automobilek. Z počátku tomu tak bylo převážně u výkonných osobních aut od výrobců jako Porsche, Mercedes, BMW, apod. Dnes už se však hliníkové třmeny využívají u valné většiny běžných osobních i užitkových vozidel.

Počátkem nového milénia začala značka Brembo globálně expandovat. Výrobce skoupil několik světových firem, které se zabývaly produkcí automobilových komponent. Např. firmu Marchesini, která se specializovala na výrobu hořčikovými disků kol, nebo britského výrobce AP Racing, jenž se naopak zabýval výrobou brzdových a spojkových dílů pro závodní vozy.

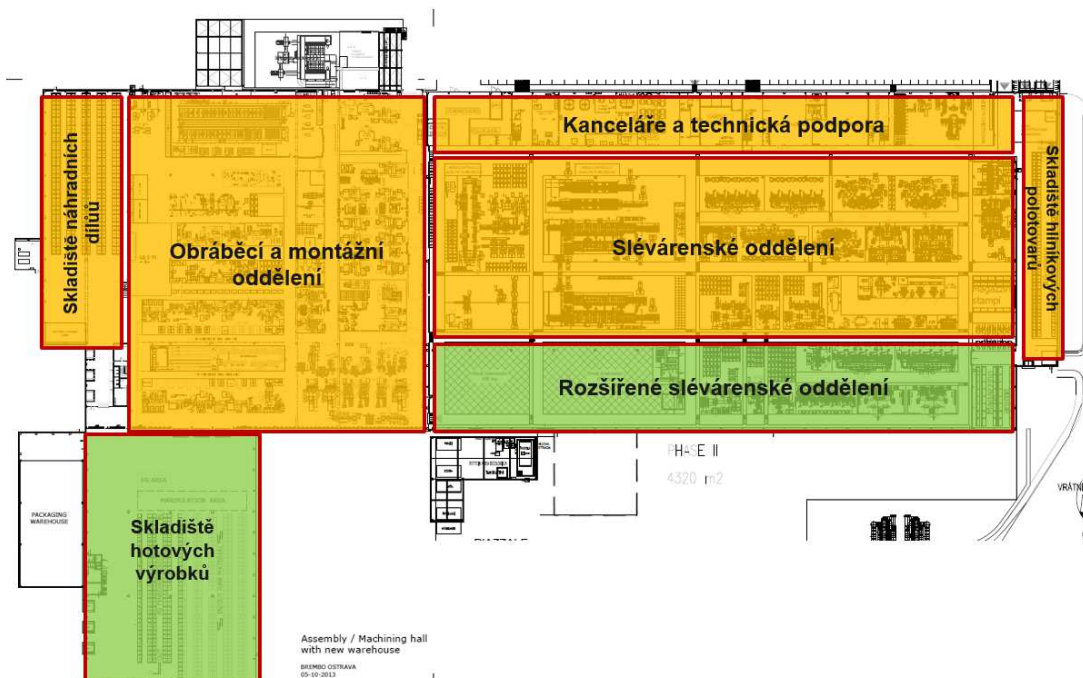
Podstatným krokem pro firmu byl i vstup na čínský a indický trh a to nejenom jako zdroj pracovní síly, ale i jako dodavatel brzdových komponent pro místní výrobce. Od roku 2007 pak firma rozšiřovala svou produkci díky nově vznikajícím továrnám v Evropě, USA a Mexiku.

1.1 Brembo Czech s.r.o.

Po úspěchu se slévárenskou pobočkou v Polském městě Dabrowa Gornicza se rozhodla firma Brembo založit další výrobní závod v nepříliš vzdálené Ostravě. V roce 2010 tak s počáteční investicí přes 35 milionů Euro vznikla nová moderní pobočka s názvem Brembo Czech s.r.o.

Její provoz byl zahájen v únoru roku 2011 výrobou hliníkových těhlic a brzdových třmenů pro vozy Audi a BMW. Později se její produkce rozšiřovala i na další ze světových automobilek. V současné době se zde vyrábí díly pro vozy Audi, BMW, Land Rover, Mercedes-Benz, Alfa Romeo a koncern General Motors.

Veškeré zde vyrobené díly (brzdové třmeny, ramena a těhlice) procházejí nejprve slévárenským procesem s následnou namátkovou rentgenovou kontrolou, dále se obrábějí a ve finále podstupují chemicko-tepelnou povrchovou úpravu ve formě anodizování. Jednotlivé části výrobního procesu jsou robotizované. Hotové díly jsou později rozesílány do celého světa k následné montáži. Ta probíhá v několika závodech, jenž se nacházejí v Číně, USA a domovské Itálii.



Obr. 1: Uspořádání výrobního závodu Brembo Czech s.r.o. [8]

2 Gravitační lití hliníku

Pomocí technologie gravitačního lití se dnes vyrábí valná většina tvarově složitých součástí z lehkých slitin. Vysoká přesnost odlitků, kterou moderní stroje zajišťují, pak umožňuje zredukovat časy nutné pro obrábění jednotlivých součástí.

2.1 Popis procesu gravitačního lití

2.1.1 Základní rozdělení podle druhu formy:

- Lití do netrvalých pískových forem
- Lití do trvalých kovových nebo keramických forem

2.1.2 Gravitační lití do trvalých forem

Při tomto typu gravitačního lití dochází k plnění trvalé kovové formy (kokily) vlivem vlastní tíhy roztaveného kovu. Jedná se o produktivní a přesnou slévářenskou metodu. Kvalita povrchu je podstatně lepší než u lití do pískových forem. V případě gravitačního lití hliníku je teplota roztaveného kovu přibližně 750 °C.

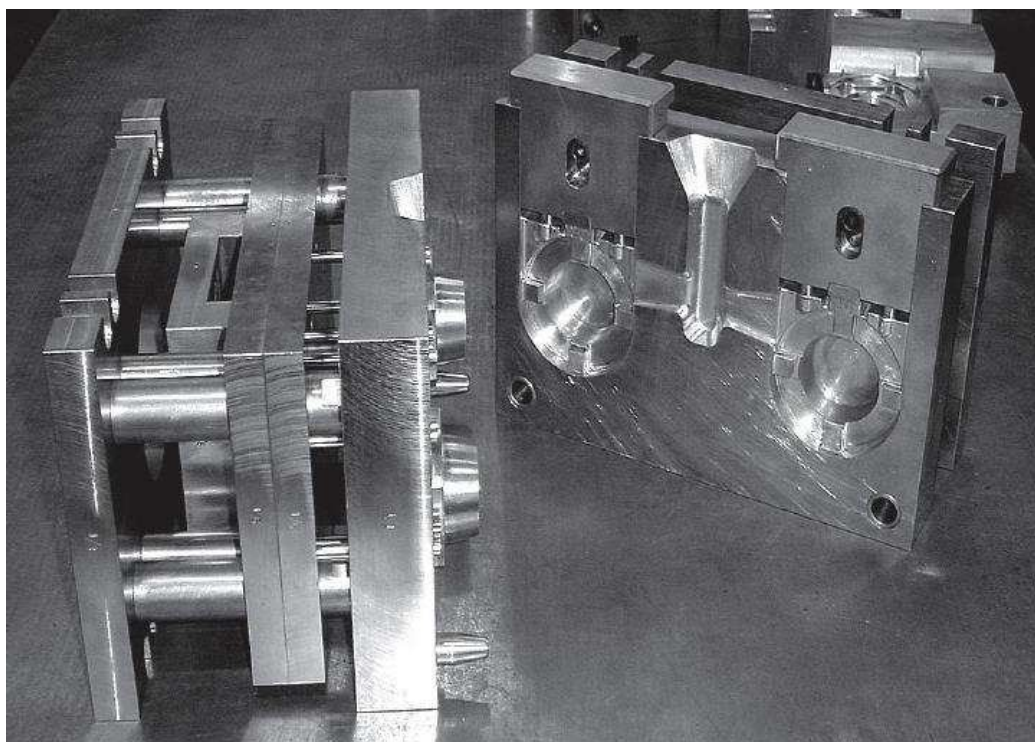


Obr. 2: Výsledný produkt – hliníkový odlitek brzdového třmene [6]

2.1.3 Formy pro gravitační liti

Trvalé formy se vyrábí z kovových bloků třískovým obráběním, někdy i pomocí práškové metalurgie. Materiály pro jejich výrobu představují slitiny kovů (litiny, legované oceli, nebo speciální slitiny wolframu, či molybdenu). Životnost jedné formy je až 150 000 cyklů, její trvanlivost je možné prodloužit vhodným druhem pokovení nebo žáruvzdorným nátěrem. Tloušťka nátěru bývá od 0,1 až po 1 mm a je třeba ho obnovovat v průběhu provozu formy a to přibližně po odlití 200-300 odlitků. Forma se odvzdušňuje kanálky v dělicí rovině. Kanálky se nesmí zalít kovem, ale musí zajistit včasný odvod vzduchu, jehož přítomnost by mohla negativně ovlivnit kvalitu výsledného odlitku.

Pro vytvoření dutin se používají písková, nebo kovová jádra. Pomocí vnitřních jader je možné vytvořit tvarově komplikované součásti za zachování příznivých výrobních nákladů. Tato vlastnost je žádoucí především u různých druhů sacích potrubí, kde je nutné dodržení přesné geometrie za účelem optimálního průtoku vzduchu nebo kapaliny.



Obr. 3: Kovová trvalá forma [12]

2.1.4 Plnění formy a tuhnutí kovu

Jednoduché formy pro malosériovou výrobu mohou být plněny ručně. Pro větší série je optimální použití gravitačních lících strojů. Jednotlivé kroky pracovního cyklu tak mohou být automatizovány. Většinou se jedná o komplexně vybavená pracoviště, jejichž součástí je udržovací pec, lící stroj (zařízení pro čištění, ošetření líce formy, tahače s hydraulickým pohonem pro uzavírání/rozevírání formy a pohyb kovových jader) a dávkovací zařízení.

Mezi hlavní výhody gravitačního lití do trvalých forem patří také vysoká tepelná vodivost samotné kovové formy. Ta zajišťuje rychlé ochlazování, což má mimo jiné za následek zlepšení mechanických vlastností výsledného odlitku.

2.2 Gravitační lící centra od firmy Gauss Automazione Srl

Firma Gauss dodává gravitační lící stroje, které jsou uzpůsobeny podle požadavků zákazníka a zajišťují tak integrované řešení pro různé způsoby gravitačního lití. Součástí centra jsou tak všechny řídicí systémy zprostředkovávající monitoring a diagnostiku výrobního procesu, který je zde plně automatizován.

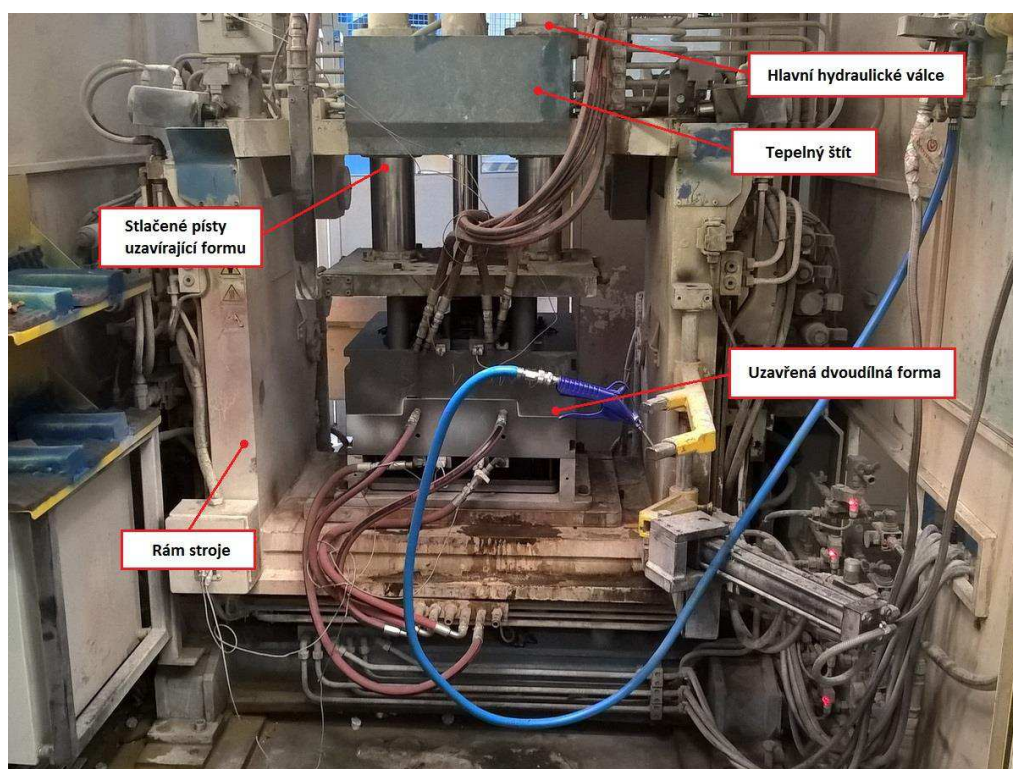


Obr. 4: Gravitační lící centrum od firmy Gauss Automazione Srl [9]

2.2.1 Gravitační lící centrum Gauss ve firmě Brembo

V případě firmy Brembo se jedná o několik jednotek z řady Isola. V rámci této práce se věnuji pouze dvěma jednotkám a to Isola β a Isola V. Obě jednotky se používají výhradně pro výrobu hliníkových brzdových třmenů metodou slévání do trvalých kovových forem.

Každá z nich zajišťuje provoz pěti hydraulických lisů. Tyto lisy jsou u obou jednotek spřažené přes jednu hydraulickou jednotku. Diagnostika této hydraulické jednotky je hlavním předmětem mé bakalářské práce a jejímu podrobnému rozboru se budu věnovat v další kapitole. Součástí hydraulického systému obou strojů je i řada akčních členů, které zprostředkovávají vysouvání hotových odlitků z formy. Naklápění formy při lití zajišťuje dvojice pomocných hydraulických válců. Právě u těchto válců může docházet k lokálnímu přehřívání oleje, jelikož na ně sálá teplo při ohřevu formy. V tomto místě v minulosti docházelo i k únikům oleje, jelikož těsnicí prvky ve válcích vlivem vysokých teplot ztrácely své elastické vlastnosti.



Obr. 5: Detail jednoho z pěti lisů na jednotce Isola β

3 **Hydraulická jednotka CPMS 500 2x30**

3.1 **Popis**

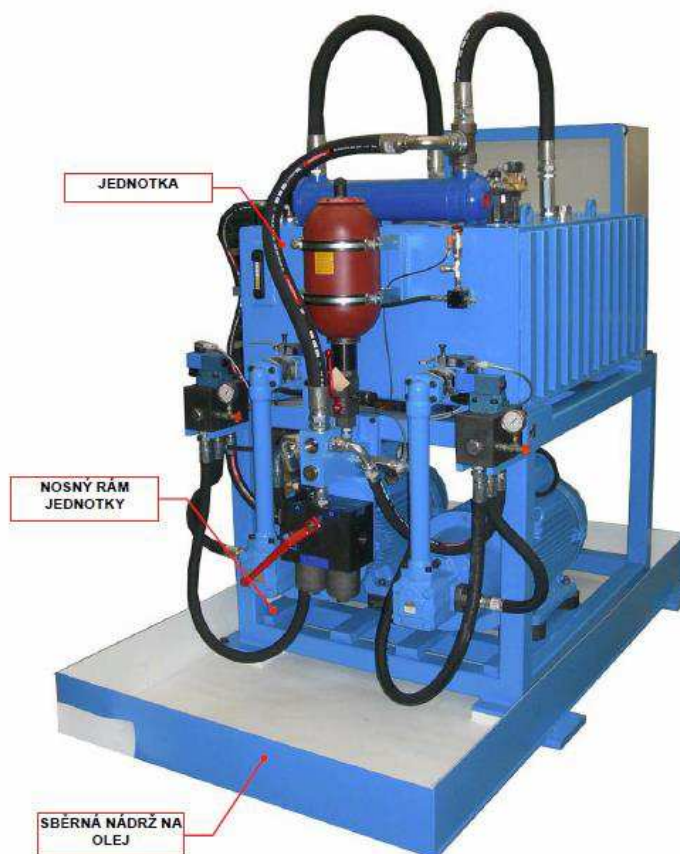
Hydraulická jednotka CPMS 500 2x30 se skládá z těchto základních komponent:

- **Sběrná vana na olej**
- **Nosný rám**
- **Jednotka**

Jednotka, jejíž hlavní část tvoří sběrná nádrž na olej o kapacitě pět set litrů, je upevněna na nosném ocelovém rámu. Rám je vyroben z robustních svařovaných úhelníků. Tento celek je doplněna dvěma motorovými čerpadly, z nichž každé má výkon 30kW a nachází se uvnitř nosného rámu.

V horní části je hydraulická jednotka vybavena zásobníkem opatřeným bezpečnostním zařízením, které se používá za účelem zastavení stroje, nebo pro vypuštění zásobníku. Nádrž je dále opatřena tepelným výměníkem voda-olej, který je kombinovaný s filtrem na výtlačné straně a optickou kontrolou hladiny oleje. Snímání hladiny hydraulického oleje zajišťuje také elektronické čidlo, které získává informace o její výšce pomocí elektromagnetických impulsů. Výsledek pak zobrazuje na displeji volitelně v centimetrech, palcích nebo procentech konečné hodnoty. Stroj byl vyprojektován a vyroben takovým způsobem, aby mohl být zařazen do výrobního centra s robotickou obsluhou pro spolehlivý provoz gravitačních licích strojů.

Hydraulický blok je pod tlak uveden pomocí čerpadla na jednotce. Součástí bloku je i plnicí víčko, zpětný ventil a tlakoměr. Stejně jako v případě měření výšky hladiny je i zde tlak měřen dodatečně pomocí elektronického čidla.



Obr. 6: Popis hlavních částí hydraulické jednotky [5]

3.2 Parametry stroje a charakteristiky provozního prostředí

Pro objektivní posouzení technického stavu sledovaného stroje je nezbytné znát všechny potřebné parametry a také charakteristiky prostředí, ve kterém je stroj provozován. Mechanické a technické vlastnosti stroje, stejně jako charakteristiky provozního prostředí jsou uvedeny v příloze č. 9.

Mimo to je třeba uvést, že v okolním prostředí stroje se nesmí vyskytovat vyšší množství znečišťujících látek (např.: prach, kyseliny, zásadité látky, korozivní látky, sůl).

Elektrická zařízení stroje nesmí být vystavena působení záření, jako je mikrovlnné záření, ultrafialové paprsky, laser, či rentgenové záření. Zejména se nesmí nacházet na místě, které je vystaveno působení magnetických polí, jenž mohou být generována např. indukčními pecemi.

3.3 Provoz a údržba hydraulické jednotky

3.3.1 Výměna náplně a plnění nádrže hydraulické jednotky

Před uvedením stroje do provozu je nutné naplnit nádrž jednotky hydraulickou kapalinou. Typ kapaliny je daný výrobcem. Ten uvádí, že doporučená kapalina je hydraulický olej Houghton COSMOLUBRIC HF/130. Jednotka je však už několik let provozována s jiným olejem, konkrétně s olejem Fuchs PLANTOFLUX 68-AT-S. Produktový list oleje PLANTOFLUX 68-AT-S je uveden v příloze č. 8.

Výrobce udává, že náplň je nutné vyměňovat v intervalu 365 dní!

Plnění jednotky se realizuje přes odpovídající plnicí zátku, která se nachází na víčku. Při tom je třeba sledovat hladinu kapaliny přes vizuální kontrolní okénko umístěné v horní části nádrže.

3.3.2 Údržba filtračního systému a výměna filtrů:

Jednotka je vybavena několika filtračními vložkami, jejichž úkolem je zabránění vniku nečistot do hydraulické kapaliny a do chladicího systému. Jelikož u současné olejové náplně může docházet k jejímu přehřívání, je třeba věnovat zvýšenou pozornost právě filtračnímu a chladicímu systému hydraulické jednotky. Postup výměny všech filtračních vložek je uveden v servisním manuálu k hydraulické jednotce.

Typ údržby	Časový interval
Čištění koncových spínačů / čidel	7 dní
Prověření utažení svorek	365 dní
Výměna kapaliny v jednotce	365 dní
Výměna filtrační vložky na vypouštění	30 dní
Výměna filtrační vložky na výtlačné straně	30 dní
Čištění trubkového svazku	30 dní
Údržba zásobníku	30 dní
Výměna filtru na nasávání	30 dní
Kontrola utažení šroubů	30 dní

Tab. 1: Intervaly výměny a údržby [5]

4 Hydraulické kapaliny

Mezi první kapaliny používané v hydraulických mechanismech patřila voda. Teprve ve 20. století ji začaly v širším rozsahu nahrazovat různé druhy minerálních olejů.

V současném průmyslu však vlastnosti minerálních olejů nemusí vyhovovat čím dál náročnějším požadavkům, které jsou na moderní hydraulické kapaliny kladeny. Proto bývají minerální oleje nahrazovány oleji syntetickými, které jsou navíc doplněny o příslušná aditiva.

4.1 Rozdělení hydraulických kapalin

4.1.1 Voda

Voda patří mezi nejstarší používané kapaliny v hydrostatických mechanismech. Má vynikající vlastnosti v případě, že v systému požadujeme přítomnost nehořlavé a prakticky dokonale ekologické kapaliny. Má však velmi nízkou viskozitu a takřka žádné mazací schopnosti.

4.1.2 Minerální oleje

Jejich základové oleje jsou vyrobeny z ropy pomocí destilace, rafinace, apod. V případě hydraulických systémů mluvíme o speciálních minerálních olejích, jejichž primární funkcí není mazání, ale přenos výkonu. Na základě jejich vlastností a použitých aditiv se minerální oleje rozdělují do několika tříd:

ISO/DIS 6743/4 CETOP RP 91 H	DIN 51 524	obsah přísad
HH	-	bez přísad
HL	HL	Přísady proti oxidaci a korozi
HR	-	(totožné s HL) + modifikátor kyselosti
HM	HLP	(totožné s HL) + protiotěrové přísady
HV	HLPV	(totožné s HM) + modifikátor viskozity
HG	-	(totožné s HM) + přísady proti „stick-and-slipu“

Tab. 2: Třídy minerálních olejů [3]

Podle DIN se oleje dále označují doplňujícím písmenem (např. HLP – D).

4.1.3 Význam jednotlivých doplňujících písmen:

D – detergenty a disperzanty (přísady pro rozpouštění a rozptylování usazenin)

M – olej s plošší viskózní křivkou

S – olej velmi plochou viskózní křivkou

V každé výkonové třídě se nachází několik viskózních tříd, mezi nejpoužívanější patří těchto šest: **ISO VG 10, 22, 32, 46, 68, 100**

4.1.4 Charakteristiky výkonových tříd

HH – pro hydrauliku nižších až středních tlaků a výkonů, nízké požadavky na viskozitu a mazací schopnosti

HL – pro hydraulické mechanismy s vyššími požadavky na termooxidační stálost, běžné nároky na viskozitu a mazací schopnosti

HM – pro vysokotlaké mechanismy, náročné na kvalitu mazání při vyšších teplotách a vysokém mechanickém namáhání

HV – pro mechanismy s požadavky totožnými jako u HM, které navíc pracují celoročně a v širokém rozsahu teplot. Velmi vysoký VI (minimálně 165).

HLP-SH – oleje, jejichž základ tvoří polyalfaolefiny, které mají dobrou oxidační stabilitu a velmi nízký bod tuhnutí. Ty jim zaručují vynikající odolnost proti opotřebení.

Kromě standardních hydraulických olejů nabízejí někteří výrobci i atypické oleje vyrobené dle přání zákazníka. Příkladem mohou být bezpopelnaté oleje, které neobsahují zinek, nebo oleje se zvýšeným množstvím detergentů a disperzantů.

4.2 Těžkozápalné kapaliny

Jelikož mezi těžkozápalné kapaliny patří i oleje, které jsou předmětem zkoumání této práce, tak je nutné se věnovat v širším rozsahu jejich rozdělení a vlastnostem. Právě znalosti týkající se vlastností a vhodnosti použití příslušných olejů mohou být spolu se základy tribologie klíčové při diagnostikování hydraulických systémů.

Těžkozápalné kapaliny (nebo také nehořlavé kapaliny) se používají ve strojích, jenž pracují v prostředí se zvýšeným nebezpečím výbuchu, dále v blízkosti žhavého kovu, nebo otevřeného ohně. Nutno zdůraznit, že odolnost těžkozápalných kapalin vůči vzplanutí není absolutní a za určitých podmínek může dojít k jejímu porušení.

Rozdělení těžkozápalných kapalin podle ISO:

HFAE – emulze oleje ve vodě

HFAS – syntetické vodné kapaliny

HFB – emulze vody v oleji

HFC – vodné roztoky polymerů

HFDR – syntetické bezvodé kapaliny z esterů kyseliny fosforečné

HFDU – syntetické bezvodé kapaliny bez přítomnosti fosforečných esterů

Provoz s vodními roztoky a emulzemi má svá specifika ve srovnání s provozem se syntetickými, nebo minerálními oleji. Například je nutné pravidelně doplňovat antikoroziční přísady a to obvykle ve formě kapalné látky, která působí v místě styku s kovovým povrchem. Nutno zdůraznit, že i samotné prvky a součásti obvodů pracujících s těmito kapalinami jsou vyrobeny z vhodných antikorozních materiálů.

Je třeba zvýšené pozornosti v případě nahrazování jednoho druhu kapaliny jinou. V případě, že kapaliny jsou vzájemně nesnášenlivé, je nutno hydraulický systém demontovat a propláchnout. V opačném případě může dojít ke znehodnocení celé olejové náplně. Například smíchání jakékoliv vodné kapaliny se syntetickým bezvodým olejem vede nevyhnutelně k vytvoření dvofázového systému, ve kterém jsou vrstvy oleje a vody trvale oddělené, což může zapříčinit selhání čerpadel.

4.2.1 HFAE A HFAS kapaliny

Tato emulze je prakticky nehořlavá (více než 80% obsah vody), proto se využívá převážně v dolech u hydraulických stojek, mechanizovaných výztuží a pohonů některých jednodušších lisů. V Česku se používá emulgační olej Emulzín H, který s vodou vytváří 3 – 5% emulzi a má široké spektrum využití. Kromě použití v hydraulických systémech se často využívá i jako obráběcí kapalina.

Hlavní výhodou emulze je její nízká cena, což je důležité právě v dolech, kde dochází k častým únikům pracovní kapaliny. Běžně se provozní teplota HFAE kapalin pohybuje mezi 0-50°C. Je nutná častá kontrola její koncentrace, ta se provádí tzv. fraktometry nebo oddělením oleje od vody. Emulze s nižší koncentrací (do 3%) lze kontrolovat vizuálně srovnáním s etalony. Dalším sledovaným parametrem je kyselost emulze, kterou lze upravovat např. přidáním kalcinované sody. Mezi další přísady patří třeba inhibitory koroze nebo přísady proti pění a baktericidní přísady.

Výrazně lepších parametrů dosahují emulze ze syntetických olejů. Tedy HFAS kapaliny. Emulze jsou jemnější, stabilnější a po přidání přísad proti opotřebení mají i dobré mazací schopnosti. Do 10% koncentrace se HFAS kapaliny využívají v oblasti nízkých až středních tlaků jakožto nehořlavé kapaliny.

4.2.2 HFB kapaliny

Tyto emulze mají více než 40% obsah vody. Projevují se tak u nich lepší mazací schopnosti než u emulzí nízkoprocentních (HFA kapaliny). Teplota vznícení je u nich poměrně vysoká (až 430°C), což jim zajišťuje omezenou hořlavost. Vlastnosti HFB kapalin se opět vylepšují pomocí příslušných aditiv. Například protiotěrovými přísadami, antioxidanty nebo inhibitory koroze.

4.2.3 HFC kapaliny

Tyto kapaliny bývají označovány také jako polyglykoly nebo vodní glykoly. Jejich obsah vody se pohybuje mezi 35-60%. Kapaliny s vyšším obsahem se opět využívají převážně v dolech. Čím vyšší je obsah polyglykolu, tím lépe dané roztoky snášejí nízké teploty. Jejich nevýhodou je zvýšená viskozita a hustota, která může zapříčinit vznik kavitace. Opět platí, že provozní teplota by neměla přesáhnout 50°C. HFC kapaliny bývají běžně doplněny o přísady, jako jsou inhibitory koroze, antioxidanty apod. Špatně se snášejí s některými těsnicími materiály na bázi polyuretanové pryže.

Mohou působit agresivně na zinek, kůži a běžné druhy nátěrů, ale nejsou toxické a jsou snadno ekologicky odbouratelné. Jejich mazací schopnosti jsou však velmi omezené, což se může podepsat třeba na životnosti ložisek.

4.2.4 HFDR a HFDU kapaliny

HFD kapalin existuje velká řada, kromě dvou výše uvedených se ve specifických případech používají ještě kapaliny HFDS (pro hydrodynamické spojky) a HFDT (pro hydrostatické převodovky). Ve všech případech se jedná o bezvodé syntetické kapaliny.

Nejčastěji se ale používají estery kyseliny fosforečné, tedy HFDR kapaliny. Jsou těžce zápalné a špatně hoří, ale bývají náchylné na přítomnost vody, s níž hydrolyzují, může tedy docházet k jejich zmýdelnatění. HFD kapaliny mají díky absenci vody výborné antikorozi a mazací schopnosti. Díky svému složení reagují s kovovými povrchy a tvoří ochranné vrstvičky fosfidů a fosfátů s protiotěrovými účinky. Agresivně působí na nitrilové pryže, a proto je nutné použít fluorovanou pryž. Provozní teplota HFD kapalin může dosáhnout až 90°C. Za účelem snížení ceny a pro vylepšení viskózní křivky bývají někdy míchány s minerálními oleji. Existují také kapaliny na bázi chlorovaných uhlovodíků PCB, které ale byly pro svou vysokou toxicitu zakázány. Zvláštním případem jsou silikonové oleje, které naleznou své uplatnění v různých mazacích sprejích, nebo třeba v hydraulických tlumičích. Rovněž se využívají jako pracovní kapalina v difuzních pumpách.

Mezi HFDU kapaliny se řadí i oleje, které jsou předmětem zkoumání v této práci.

Typ kapaliny	HFA (emulze oleje ve vodě)	HFB (emulze vody v oleji)	HFC (vodné roztoky polymerů)	HFD (syntetické bezvodé kapaliny)
Provozní teplota	5 – 55 °C [40 – 130 °F]	5 – 60 °C [40 – 140 °F]	-20 – 60 °C [-4 – 140 °F]	10 – 70 °C [50 – 160 °F]
Obsah vody	> 80%	> 40%	> 35%	–
Typická životnost valivého ložiska	< 5%	30 – 35%	10 – 20%	50 – 100%

Tab. 3: Přehled a parametry těžkozápalných kapalin [15]

4.3 Ekologicky příznivé hydraulické kapaliny

Rozdělení ekologických kapalin podle ISO:

HTG – rostlinný olej

HPG – polyglykoly

HE – syntetické estery

4.3.1 HTG kapaliny

Nejčastěji se pro jejich výrobu používají řepkový olej. Mají velice dobré mazací vlastnosti, vysoký VI, ale odolnost proti oxidaci je u nich často nevyhovující. Maximální provozní teplota by neměla přesáhnout 70°C. Podléhají hydrolýze a jsou hořlavé.

4.3.2 HPG kapaliny

Tyto kapaliny jsou nehořlavé a vyznačují se dobrou biologickou rozložitelností (až 90%). Mají však vyšší viskozitu a hustotu, a to zejména v nižších teplotách, což může způsobovat navýšení odporů v sání.

4.3.3 HE kapaliny

Syntetické estery mají vynikající mazací schopnosti, příznivý VI a výborné nízkoteplotní vlastnosti, dobře odolávají hydrolýze. Jejich hlavní předností oproti rostlinným olejům je vysoká antioxidační stálost. Provozní teplota by neměla přesáhnout 70°C. HE kapaliny nepůsobí korozivně a nejsou toxické. Jejich biologická odbouratelnost je až 95%.

5 Diagnostika hydraulických systémů

Hydraulické systémy patří do skupiny složitých strojních zařízení, avšak nacházejí své uplatnění v širokém spektru strojních systémů. Funkčnost celého stroje je pak závislá na dobrém technickém stavu hydraulického obvodu a všech jeho prvků. Nicméně určení technického stavu tohoto systému bývá často problematické a právě zde je vhodné využití prostředků technické diagnostiky.

Určení technického stavu hydraulických obvodů je možné realizovat pomocí dvou typů signálů:

- **Signály vyvolané fyzikálním jevem** – využití metod parametrické diagnostiky (tj. zjišťování hodnot tlaku, průtoku, teploty, otáček, momentů, rychlostí a jejich změn v čase).
- **Průvodní signály** – tyto signály nepodmiňují činnost systému, ale mohou nás upozornit na případnou závadu (tj. vibrace, hluk, znečištění kapaliny)

Základní rozdělení metod diagnostiky hydraulických obvodů:

- **Parametrické metody** – měření parametrů a jejich účinností
- **Vibroakustické metody** – měření vibrací a akustických veličin
- **Termodynamické metody** – měření termodynamických veličin
- **Tribodiagnostické metody** – analýza pracovních kapalin

5.1 Tribodiagnostika hydraulických systémů

Předmětem této práce je provedení komplexní tribotechnické diagnostiky u oleje odebraného z hydraulického systému gravitačního lícího stroje. Pro tyto účely jsem využil metod tribodiagnostiky.

Vzhledem k rozlehlosti většiny hydraulických systémů, značné velikosti olejové náplně a materiálové podobnosti prvků třecích dvojic je hodnocení opotřebení u jednotlivých tribologických uzlů dosti problematické. Tribodiagnostika tak u hydraulických systémů hodnotí zejména celkovou kvalitu pracovní kapaliny (hydraulického oleje), zejména pak její čistotu. Stav a kvalita hydraulické kapaliny pak rozhoduje nejen o účinnosti celého zařízení, ale i o jeho provozní spolehlivosti a celkové životnosti.

5.2 Měřené parametry hydraulických kapalin

Jelikož funkce hydraulického oleje je specifická, je specifická i jeho diagnostika. Některé parametry odebraného vzorku tak můžeme zanedbat, zatímco jiné mohou rozhodnout o okamžité výměně kompletní olejové náplně.

5.2.1 Viskozita

Viskozita patří mezi základní parametry každé kapaliny, ale u hydraulických olejů je obzvlášť důležitá. Když je příliš nízká, může způsobit nadměrné opotřebení jednotlivých prvků v systému. Naopak příliš vysoká viskozita zapříčiňuje zpomalení chodu hydraulických mechanismů. Hydraulický systém pak nereaguje stejně rychle, jako by reagoval s olejem správné viskozity.

Olej je charakterizován zpravidla kinematickou viskozitou při 40°C a při 100°C. Kinematická viskozita při 100°C je důležitá pro výpočet VI. Tedy hlavně u těch strojů, které pracují venku a při proměnlivých teplotách.

5.2.2 Kód čistoty

Kód čistoty patří mezi nejdůležitější parametry, které je třeba u hydraulických olejů sledovat. Tento parametr má širší praktický význam jenom u hydraulických a turbínových olejů. Vysoká koncentrace mechanických nečistot může mít pro většinu hydraulických systémů fatální následky. Čím vyšší je přesnost a jemnost jednotlivých součástí hydraulického systému, tím vyšší jsou i nároky na čistotu jeho oleje.

Pro vyhodnocení kódu čistoty se na světě využívají tři hlavní systémy, tedy ISO 4406, NAS 1638 a SAE AS 4059. V Evropě se pak jedná hlavně o ISO 4406 a NAS 1638.

5.2.3 Obsah vody

Mezi další důležité parametry, které se u hydraulických olejů stanovují, patří obsah vody. Všechny oleje, včetně těch hydraulických jsou hygroskopické, pohlcují tak vodu z okolního ovzduší. Množství vody, které je olej schopný pohltnout je pro každý druh oleje jiný a odvíjí se na základě přidaných aditiv. Obecně platí, že běžný minerální hydraulický olej by neměl obsahovat více jak 250 ppm vody. Je třeba podotknout, že oleje, kterou jsou předmětem této bakalářské práce, patří mezi syntetické těžkozápálné kapaliny, a proto se mohou jejich požadavky na obsah vody lišit od běžných hydraulických olejů.

5.2.4 Číslo kyselosti

V případě vyhodnocování čísla kyselosti hraje hlavní roli změna tohoto parametru. Některá aditiva totiž mohou reagovat při zkoušce s titrační kapalinou a zkreslit tak výsledek. Je třeba zohlednit i množství a druh aditiv v oleji. Kupříkladu běžné hydraulické oleje s příměsí zinku budou v tomto případě reagovat jinak než speciální oleje, které zinek neobsahují (např. pezpopelové oleje). Číslo kyselosti nám také vypovídá o termo-oxidačních změnách v oleji, jejichž důsledkem je vznik volných karboxylových skupin. Olej v takovém případě ztrácí své mazací schopnosti a je nutná jeho výměna. Další výrazný problém, který se v případě zvýšeného čísla kyselosti objevuje, je výrazná degradace pryžových těsnících prvků. Poškození těsnění může v případě hydraulických systémů vést k únikům pracovní kapaliny a vniku nečistot do systému, které pak mohou svými abrazivními a erozivními účinky vyvolat další problémy.

5.2.5 Infračervená spektrometrie

Úroveň degradace hydraulického oleje je možné stanovit také pomocí infračervené spektrometrie (tzv. FTIR analýzy). Kupříkladu objeví-li se peak při vlnovém čísle 1650 cm^{-1} , tak můžeme pozorovat vibrace karbonylové skupiny, která přísluší aldehydům, ketonům a karboxylovým kyselinám. Všechny tyto produkty poukazují na termo-oxidační stárnutí oleje. Další důležitý parametr, který je možné pomocí FTIR vysledovat je obsah vody. Nutno zdůraznit, že přesnost takto stanoveného parametru je závislá na dalších vlastnostech oleje a je tak zatížena větší chybou, než u metody Coulometrické titrace.

5.2.6 Rentgenová spektrometrie

Pomocí rentgenové spektrometrie můžeme zjistit valnou většinou prvků, ze kterých je daný vzorek oleje složen. V případě hydraulických olejů nás především zajímá úbytek aditiv (P, Zn, Mg apod.) a také přítomnost prvků, které by mohly poukazovat na zvýšené tření a opotřebení funkčních prvků systému. Na základě znalosti konstrukce stroje tak můžeme zjistit vážnost opotřebení podle koncentrace příslušných otěrových prvků (Fe, Al, Cr, Cu atp.). V neposlední řadě je možné i stanovení nečistot, a to podle koncentrace prvků Si, Na a K.

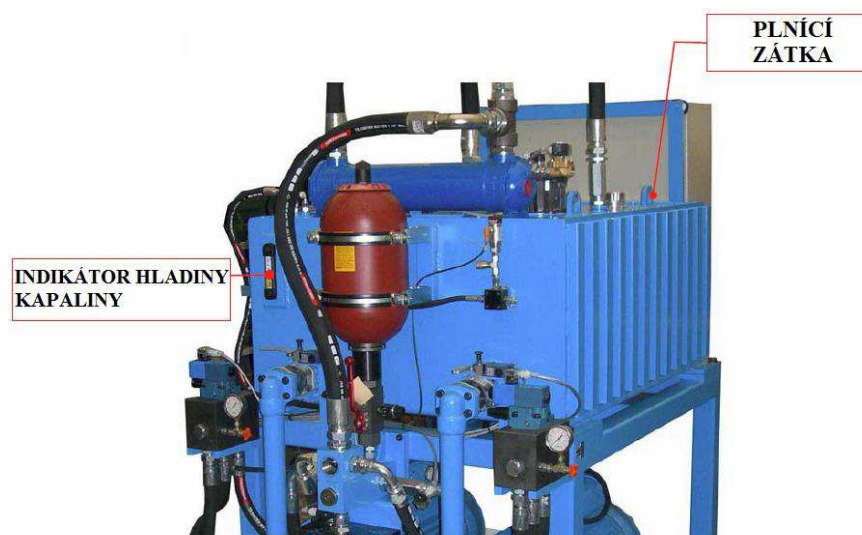
Mezi další metody sloužící k rozboru hydraulických olejů patří například ferografie nebo atomová spektrometrie. Tyto metody však nebyly použity k analýze mých vzorků oleje, a proto se jim zde v širším rozsahu nevěnuji.

6 Tribodiagnostika gravitačního licího stroje

Pomocí tribodiagnostiky můžeme získat informace o stavu stroje a jeho maziva bez nutnosti demontáže stroje nebo jeho částí. V mé práci se v rámci tribodiagnostiky zabývám dvěma gravitačními licími stroji a jejich hydraulickými systémy. Na základě původního plánu proběhl odběr vzorků hydraulického oleje u těchto strojů v intervalu šesti měsíců, a to vždy po dvou měsících. U všech odebraných vzorků jsem posléze provedl měření příslušných parametrů (tj. obsah vody, číslo kyselosti, kód čistoty, kinematická viskozita, FTIR analýza a prvková analýza pomocí rentgenového spektrometru). Výsledky měření jsem zanesl do tabulek. Vyhodnocení jednotlivých měření provedu v závěru tribodiagnostického měření a vyhodnocení celkového technického stavu stroje posléze provedu v závěru práce.

6.1 Odběr vzorků pro analýzu

Odběr vzorků probíhal na základě normy ČSN 65 6207 pro odběr vzorků hydraulických kapalin. Jak už jsem uvedl, oba diagnostikované stroje jsou takřka v nepřetržitém provozu, olej tak byl při odběru zahřátý na provozní teplotu (cca 50°C). Místem odběru bylo u obou strojů hrdlo nádrže s hydraulickou kapalinou. Pro odběr jsem využil podtlakové odsávačky model 36800 od amerického výrobce Trico a uzavíratelné transparentní plastové vzorkovnice o kapacitě 250 ml. Při samotném odběru vzorků jsem pak postupoval podle bodů uvedených heslovitě v následující podkapitole.



Obr. 7: Popis hydraulické jednotky [5]

Jelikož mezi hlavní sledované parametry u hydraulických kapalin patří množství a velikost nečistot, je nutné už při odběru dbát zvýšené pozornosti, jedná-li se o čistotu celého procesu.

Výjimkou, která potvrzuje důležitost předchozího odstavce, byl druhý odběr, jenž se uskutečnil v únoru 2018. Při tomto odběru došlo vlivem neopatrné manipulace k poškození těsnících prvků na odsávačce. To vedlo k jejímu vyřazení z provozu a pro plnění vzorkovnic u stroje Isola V jsem tak byl nucen využít nízkotlakého přítoku hydraulického oleje do nádrže. Toto pochybení vedlo nejenom ke zkreslení výsledků při druhém měření, ale také ke zničení vzorku vlivem jeho kontaminace prachovými částicemi, které se dostaly do vzorkovnice při odběru.



Obr. 8: Jednorázová transparentní plastová vzorkovnice s objemem 250 ml

6.1.1 Postup odběru vzorků oleje

- Příprava a kontrola čistoty vzorkovnic
- Označení vzorkovnic samolepkami s údaji o typu stroje, druhu maziva, datu odběru a jménu příslušného tribotechnika, který odběr prováděl
- Upevnění vzorkovnice na odsávačku
- Demontáž zátky nádrže s hydraulickou kapalinou
- Umístění odsávací hadičky (přibližně do poloviny výšky hladiny oleje v nádrži)
- Naplnění proplachovací vzorkovnice přibližně 250ml oleje
- Demontáž proplachovací vzorkovnice a montáž odběrové vzorkovnice na podtlakovou odsávačku
- Odběr finálního vzorku oleje
- Demontáž a utěsnění vzorkovnice
- Montáž zátky nádrže a uskladnění odsávačky pro další odběr



Obr. 9: Plnění vzorkovnice pomocí podtlakové odsávačky z hrdla nádrže

6.2 Fyzikálně chemické parametry oleje – výsledky měření

Před vyhodnocením stavu olejů u obou sledovaných strojů je nutné uvést stáří obou jejich olejových náplní, respektive vyhodnotit procesy, které v minulosti podstoupily. Stroje z řady Isola byly do výrobního procesu zařazovány postupně, a tak je u každého z nich odlišné i datum výměny olejové náplně. Olejová náplň hydraulické jednotky u stroje Isola β je přibližně rok stará. U jednotky Isola V došlo ke kompletní výměně náplně v lednu 2018, při odběru vzorku v prosinci 2017 tak byla náplň pořád původní.

6.2.1 Kinematická viskozita

Isola β	
Datum odběru	Kinematická viskozita [cm²·s⁻¹]
21.12.2017	66,89
22.2.2018	68,02
25.4.2018	68,76

Tab. 4: Kinematická viskozita u stroje Isola β

Isola V	
Datum odběru	Kinematická viskozita [cm²·s⁻¹]
21.12.2017	69,53
Výměna olejové náplně – 11.1.2018	
22.2.2018	68,13
25.4.2018	67,93

Tab. 5: Kinematická viskozita u stroje Isola V

6.2.2 Hmotnostní obsah vody

Obsah vody byl na poměry HFDU kapalin poměrně vysoký. Je třeba uvést, že už u referenčního oleje, který byl odebrán ze zapečetěného sudu, jsem naměřil obsah vody 0,04%. I u dlouhodobě provozovaného oleje, který představuje vzorek ze stroje Isola β , nedocházelo k přílišnému zvyšování této hodnoty v závislosti na čase.

Referenční vzorek	
Obsah vody [%]	
0,04	

Tab. 6: Obsah vody u referenčního vzorku

Isola β	
Datum odběru	Obsah vody [%]
21.12.2017	0,0448
22.2.2018	0,0483
25.4.2018	0,0528

Tab. 7: Obsah vody u stroje Isola β

Isola V	
Datum odběru	Obsah vody [%]
21.12.2017	0,0586
Výměna olejové náplně – 11.1.2018	
22.2.2018	0,0576
25.4.2018	0,0583

Tab. 8: Obsah vody u stroje Isola V

6.2.3 Číslo celkové kyselosti

Těžkozápalné HFDU oleje patří často mezi kapaliny s přirozeně vyšším číslem celkové kyselosti. Už referenční vzorek oleje Plantoflux 68-AT-S dosahoval hodnoty **1,23 mg KOH/g**, což odpovídá údajům, které uvádí ve svém produktovém listu i firma Fuchs. Nutno zdůraznit, že olej, který je doporučený výrobcem hydraulické jednotky (tj. Houghton Cosmolubric HF-130), má ještě daleko vyšší číslo celkové kyselosti. V produktovém listu firmy Houghton je uvedena hodnota TAN u nového oleje **3 mg KOH/g**.

V případ měření celkového čísla kyselosti došlo v několika případech k selhání měřicího procesu. Toto mohlo být zapříčiněnou buď vysokou kyselostí vzorků oleje, nebo nesnášenlivostí titrační kapaliny s jeho syntetickými složkami.

Referenční vzorek	
Číslo kyselosti [mg KOH/g]	
1,23	

Tab. 9: Číslo celkové kyselosti u referenčního vzorku

Isola β	
Datum odběru	Číslo kyselosti [mg KOH/g]
21.12.2017	-
22.2.2018	2,96
25.4.2018	-

Tab. 10: Číslo celkové kyselosti u stroje Isola β

Isola V	
Datum odběru	Číslo kyselosti [mg KOH/g]
21.12.2017	-
Výměna olejové náplně – 11.1.2018	
22.2.2018	2,84
25.4.2018	4,15

Tab. 11: Číslo celkové kyselosti u stroje Isola V

6.2.4 Kód čistoty podle ČSN ISO 4406/99

Kód čistoty představuje nejvíce problematickou hodnotu u hydraulických olejů. Zvýšené množství mechanických nečistot může mít fatální následky pro funkci hydraulického systému, není-li mu věnována dostatečná pozornost. U stroje Isola β můžeme pozorovat postupný nárůst mechanických nečistot. Za předběžný odhad jejich zdroje považuji selhávání těsnících prvků na pomocných hydraulických válcích. Už v předchozích bodech práce jsem uváděl, že právě toto místo bylo zdrojem častých netěsností. Těsnění patrně rozrušuje teplo sálající od zahřáté licí formy. Poškozené těsnění pak nejen dovoluje oleji unikat z válců, ale umožňuje nečistotám vniknout dovnitř hydraulického systému.

Referenční vzorek
Kód čistoty [ČSN ISO 4406/99]
13/13/11

Tab. 12: Kód čistoty podle ČSN ISO 4406/99 u referenčního vzorku

Isola β	
Datum odběru	Kód čistoty [ČSN ISO 4406/99]
21.12.2017	15/14/12
22.2.2018	16/15/14
25.4.2018	17/16/12

Tab. 13: Kód čistoty podle ČSN ISO 4406/99 u stroje Isola β

Isola V	
Datum odběru	Kód čistoty [ČSN ISO 4406/99]
21.12.2017	18/17/15
Výměna olejové náplně – 11.1.2018	
22.2.2018	17/16/15
25.4.2018	17/17/14

Tab. 14: Kód čistoty podle ČSN ISO 4406/99 u stroje Isola V

6.2.5 Kód čistoty podle NAS 1638

Výrazný nárůst kódu čistoty můžeme pozorovat u druhého odběru, v případě stroje Isola V. Právě při tomto odběru došlo ke kontaminaci vzorku prachovými částicemi. Obzvlášť znepokojující je pak velké množství mechanických nečistot u stroje Isola V při posledním odběru, které je porovnatelné s první odběrem, a to přestože u daného stroje došlo mezi těmito odběry k výměně olejové náplně.

Referenční vzorek
Kód čistoty [ČSN ISO 4406/99]
6

Tab. 15: Kód čistoty podle NAS 1638 u referenčního vzorku

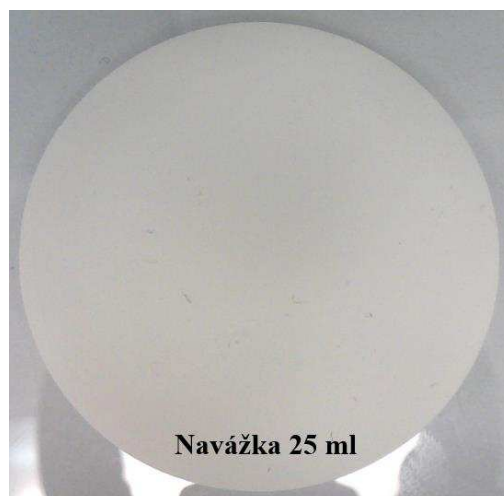
Isola β	
Datum odběru	Kód čistoty [ČSN ISO 4406/99]
21.12.2017	7
22.2.2018	9
25.4.2018	9

Tab. 16: Kód čistoty podle NAS 1638 u stroje Isola β

Isola V	
Datum odběru	Kód čistoty [ČSN ISO 4406/99]
21.12.2017	9
Výměna olejové náplně – 11.1.2018	
22.2.2018	11
25.4.2018	9

Tab. 17: Kód čistoty podle NAS 1638 u stroje Isola V

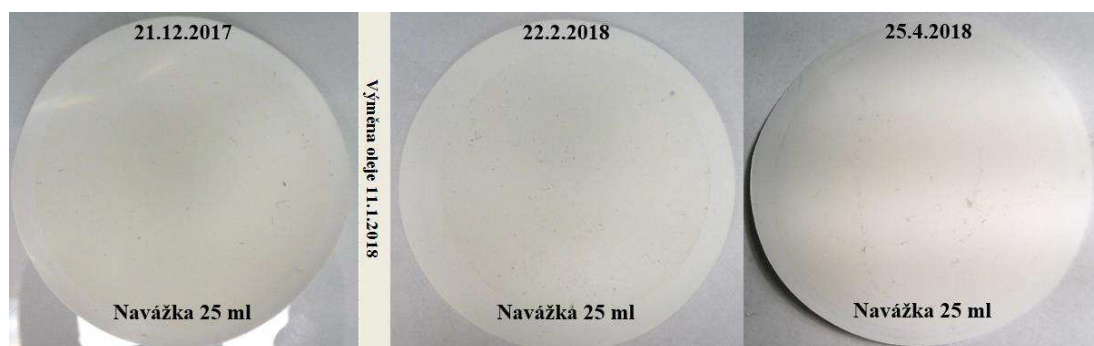
6.2.6 Snímky filtrů



Obr. 10: Snímek filtru - referenční vzorek



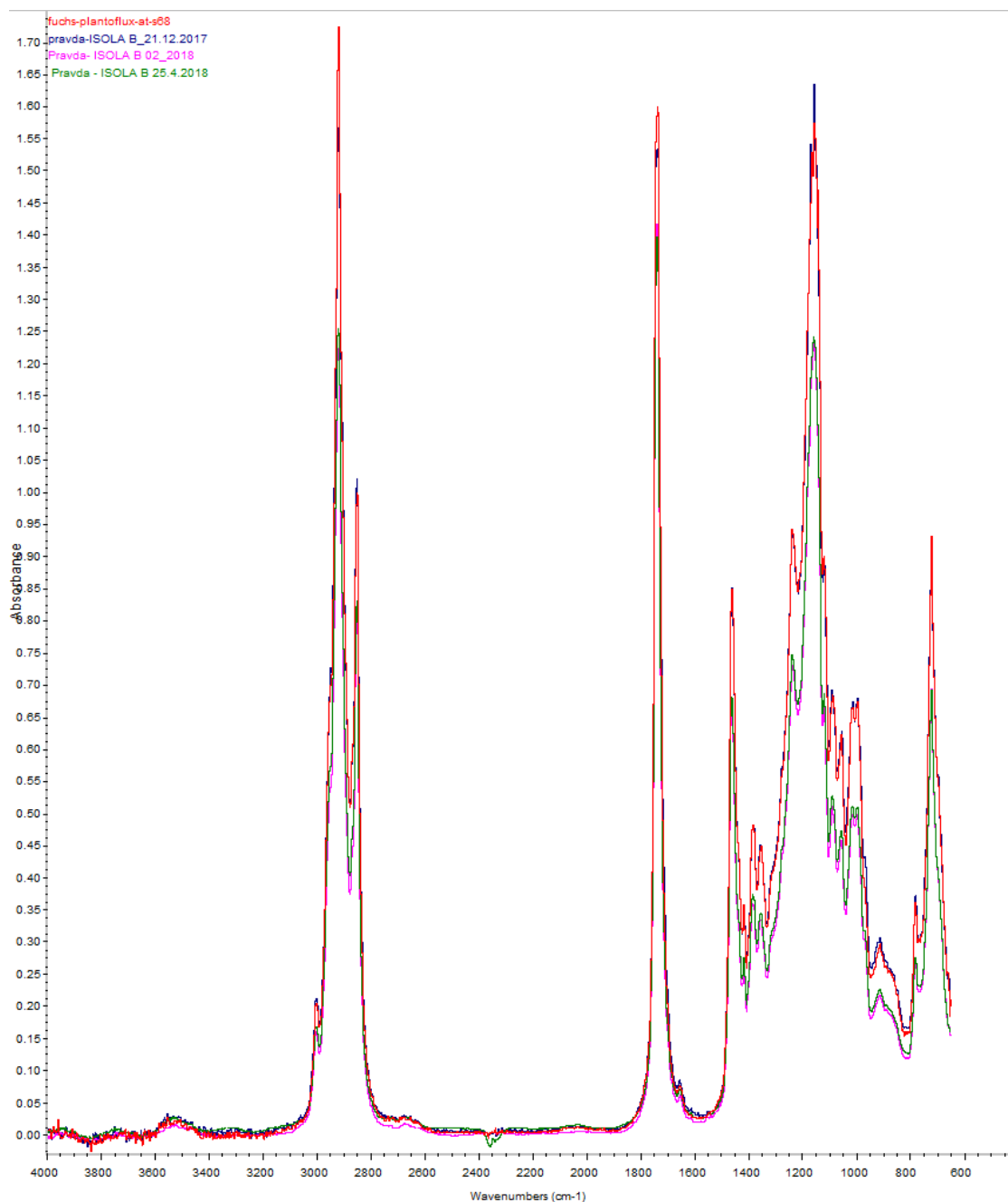
Obr. 11: Snímky filtrů - Isola β



Obr. 12: Snímky filtrů - Isola V

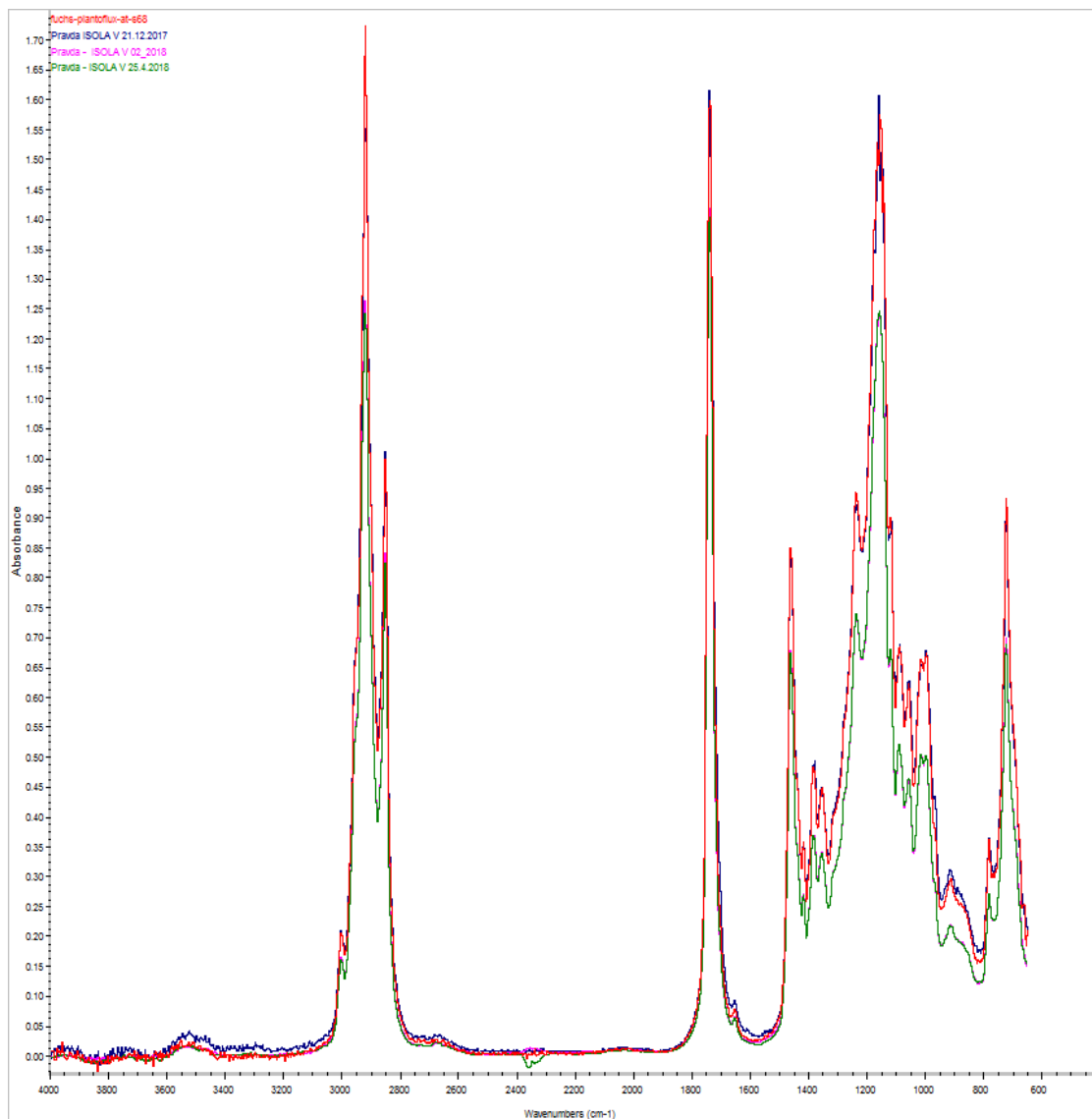
6.2.7 FTIR analýza

Rozbor olejů pomocí IČ spektrometrie s Fourierovou transformací proběhl na stroji Nicolet Impact 410 FTIR.



Obr. 13: FTIR diagram u stroje Isola β

U stroje Isola β můžeme pozorovat rychlé stárnutí oleje, ke kterému začíná docházet přibližně po roce provozu dané olejové náplně. Peak na vlnovém čísle 1750 cm^{-1} u minerálních olejů značí přítomnost oxidace, v případě syntetických olejů se jedná o vibrace esterů. Posunutí celého pásu u posledních dvou odběrů směrem dolů a pokles intenzity u jednotlivých peaků může naznačovat rozpad uhlovodíkových řetězců oleje. Olej tak může ztrácet své mazací schopnosti bez jiných znatelných změn, třeba co se týče viskozity.



Obr. 14: FTIR diagram u stroje Isola V

V případě oleje odebraného ze stroje Isola V můžeme pozorovat podobný trend, jako u stroje Isola β . Velký propad v intenzitě jednotlivých peaků můžeme pozorovat u třetího odběru, a to převážně u nižších vlnových čísel.

6.2.8 Prvková analýza pomocí ED-XRF

Rozbor olejů pomocí rentgenového spektrometru proběhl na stroji Spectro Xepos.

Isola β				
Otěrové prvky	Datum odběru			
Prvek	Referenční	21.12.2017	22.2.2018	25.4.2018
Obsah Fe [ppm]	< 1	10,3	9	10,4
Obsah Cu [ppm]	3,1	5,9	6,7	7,8
Obsah Cr [ppm]	0	0,9	2,3	4,7
Obsah Sn [ppm]	< 3	< 3	< 3	< 3
Obsah Si [ppm]	< 1	< 1	< 1	< 1
Obsah Pb [ppm]	0,4	< 0,1	0,6	0,4

Tab. 18: Koncentrace otěrových prvků u stroje Isola β

V případě stroje Isola β nedochází k výraznému nárůstu koncentrací otěrových prvků, mírně vyšší je u dvou odběrů pouze koncentrace železa. Podezřelý je ovšem vyšší obsah chromu u referenčního vzorku.

Isola β				
Úbytek aditiv	Datum odběru			
Prvek	Referenční	21.12.2017	22.2.2018	25.4.2018
Obsah S [ppm]	3785	3557	3626	3631
Obsah P [ppm]	179	183,6	184,4	186,2
Obsah Na [ppm]	1852	1855	< 1005	< 1005
Obsah Zn [ppm]	1,3	22,9	23,3	26,9
Obsah Ca [ppm]	< 10	< 10	< 10	< 10

Tab. 19: Koncentrace prvků příslušících aditivům u stroje Isola β

Rozpad aditiv je patrný pouze v případě obsahu sodíku. To poukazuje na možné snížení detergentních vlastností oleje. Tento fakt také potvrzuje, že olej skutečně po roce provozu začíná ztrácet některé ze svých provozních vlastností a je nutná jeho výměna.

Isola V					
Otěrové prvky	Datum odběru				
Prvek	Referenční	21.12.2017	Výměna olejové náplně – 11.1.2018	22.2.2018	25.4.2018
Obsah Fe [ppm]	< 1	38,5		11,5	7
Obsah Cu [ppm]	3,1	6,1		5,2	4,7
Obsah Cr [ppm]	0	1,6		0,8	6,6
Obsah Sn [ppm]	< 3	< 3		< 3	< 3
Obsah Si [ppm]	<1	<1		111,7	<1
Obsah Pb [ppm]	0,4	0,7		< 0,1	< 1

Tab. 20: Koncentrace otěrových prvků u stroje Isola V

Isola V					
Úbytek aditiv	Datum odběru				
Prvek	Referenční	21.12.2017	Výměna olejové náplně – 11.1.2018	22.2.2018	25.4.2018
Obsah S [ppm]	3785	3818		3995	3905
Obsah P [ppm]	179	126		171,2	150,2
Obsah Na [ppm]	1852	1669		< 1005	1797
Obsah Zn [ppm]	1,3	26,2		14,1	11,7
Obsah Ca [ppm]	< 10	< 10		< 10	< 10

Tab. 21: Koncentrace prvků příslušících aditivům u stroje Isola V

V případě stroje Isola V také nedocházelo k výrazným změnám v prvkovém složení jednotlivých vzorků. U prvního odběru, při kterém byla ve stroji pořád přítomna původní olejová náplň, jsem zjistil relativně vysokou koncentraci železa. Mimo to olej nevykazoval výraznější změny oproti referenčnímu vzorku. U prvního a třetího vzorku můžeme rovněž pozorovat úbytek fosforu, který je výraznější, než u stroje Isola β. Tento fakt vypovídá o výraznější spotřebě, či rozpadu, protiotěrových aditiv. Alarmující hodnoty vykazuje druhý odběr, v tomto případě se opět jedná o zmiňovaný případ kontaminace vzorku prachovými částicemi. Křemík ve vysoké koncentraci má svůj původ v dělicím prášku, kterým se vysypávají trvalé formy před odléváním hliníku. Poslední odběr svědčí o poměrně dobrých vlastnostech oleje, zvláštností je výrazný nárůst koncentrace sodíku.

6.3 Závěr tribodiagnostického měření

Všechny vzorky vykazovaly dobrou stálost, co se týče kinematické viskozity. Dále jsem u všech vzorků, včetně referenčního, naměřil zvýšený hmotnostní obsah vody, hodnoty však zůstávaly konzistentní a koncentrace se ani po roce provozu olejové náplně výrazně nezvyšovala. Problematická hodnota u všech vzorků bylo číslo celkové kyselosti (TAN). Už referenční vzorek vykazoval poměrně vysoké hodnoty, které rostly v závislosti na čase u všech dalších vzorků. Obzvlášť poslední měření u stroje Isola V vykazuje velmi vysoké číslo celkové kyselosti (více než 4 mg KOH/g). Kód čistoty, ať už podle normy ČSN ISO 4406/99, nebo NAS 1638, vykazoval nevyhovující hodnoty. Pravděpodobně dochází ke vzniku nečistot do hydraulického systému přes selhávající těsnící prvky na pomocných hydraulických válcích. Další alternativou vysvětlující přítomnost takto vysokých hodnot by mohl být vznik měkkých kalů v oleji. Nasvědčovaly by tomu i mikroskopické snímky filtrů, na kterých jsou drobné částice často průsvitného charakteru. Automatický čítač částic není schopen rozeznat měkké kaly od běžných mechanických nečistot. Rozbor pomocí FTIR analýzy ukázal hlavně výrazné posuny pásů u jednotlivých odběrů. Tento fakt může svědčit o rozpadu uhlovodíkových řetězců v oleji. Alternativně může být posun pásů vyvolaný vysokým číslem celkové kyselosti. Prvková analýza pomocí rentgenového spektrometru prokazovala (až na výjimky) dobrou stálost aditiv. Množství otěrových prvků bylo rovněž vyhovující, tedy kromě druhého odběru, kde došlo ke zmiňované kontaminaci vzorku.

7 Termovizní měření hydraulické jednotky

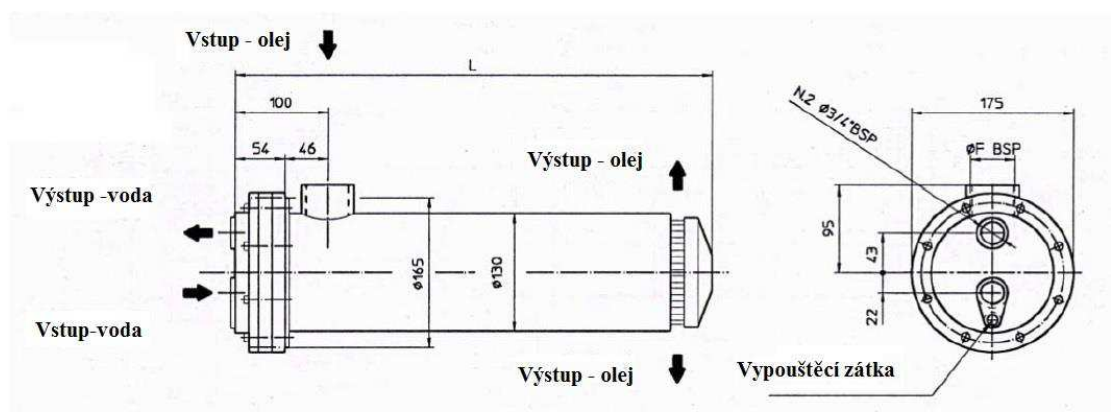
U obou hydraulických jednotek bylo od začátku podezření, že k přehřívání oleje dochází právě zde. Pomocí metod termodiagnostiky jsem se snažil odhalit zdroj přehřívání a zároveň i ověřit reálné teploty jednotlivých zařízení a provozních kapalin.

Měření proběhlo za pomoci termovizní kamery Fluke Ti 32 přímo v provozu firmy Brembo Czech s.r.o. Tato kamera pracuje s rozlišením 320x240, citlivostí 0,05 °C a při teplotním rozsahu -20 až 600 °C.

7.1 Výměník tepla

Nejproblematictější z hlediska přehřívání je u hydraulické jednotky CPMS 500 2x30 výměník voda-olej umístěný v horní části nádrže. Zaměřil jsem se proto právě na termodiagnostiku tohoto prvku. Popis funkce výměníků je znázorněn níže na diagramu.

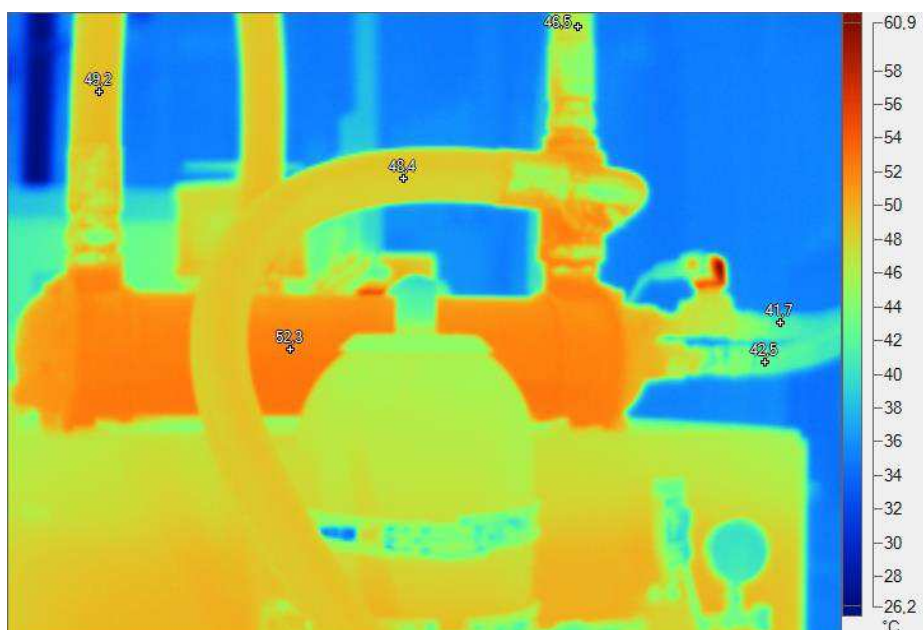
Pro správnou funkci a maximální výkon výměníku je nutná jeho pravidelná údržba. Je doporučeno kontrolovat vodní okruh a eliminovat případné stopy vodního kamene nebo jiných nečistot, které se mohou usazovat uvnitř trubek a ventilů. V případě, že je vodní kámen přítomen, je třeba ho mechanicky odstranit, nebo nechat v okruhu kolovat speciální kapalinu, která zajistí rozpuštění jeho úsad.



Obr. 15: Diagram - výměník tepla [5]

7.2 Termovizní měření výměníku tepla

7.2.1 Výměník tepla u stroje Isola β



Obr. 16: Termovizní snímek výměníku tepla u stroje Isola β – infračervené záření



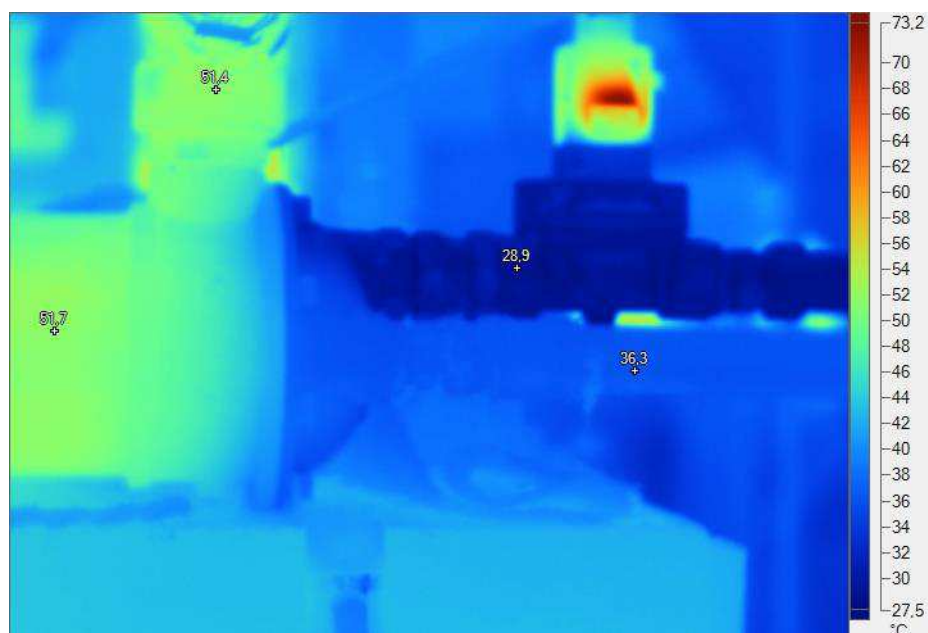
Obr. 17: Termovizní snímek výměníku tepla u stroje Isola β – viditelné záření

Odražená zdánlivá teplota	36,8 °C
Emisivita	0,96
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	37,8 °C
Relativní vlhkost	62 %
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s ⁻¹
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 1m

Tab. 22: Parametry u termovizního měření – Isola β

Vstupní teplota vody: 41,7 °C
Výstupní teplota vody: 42,5 °C
Vstupní teplota oleje: 48,4 °C
Výstupní teplota oleje: 49,2 °C
Teplota na plášti výměníku: 52,3 °C

7.2.2 Výměník tepla u stroje Isola V



Obr. 18: Termovizní snímek výměníku u stroje Isola V - infračervené záření - voda

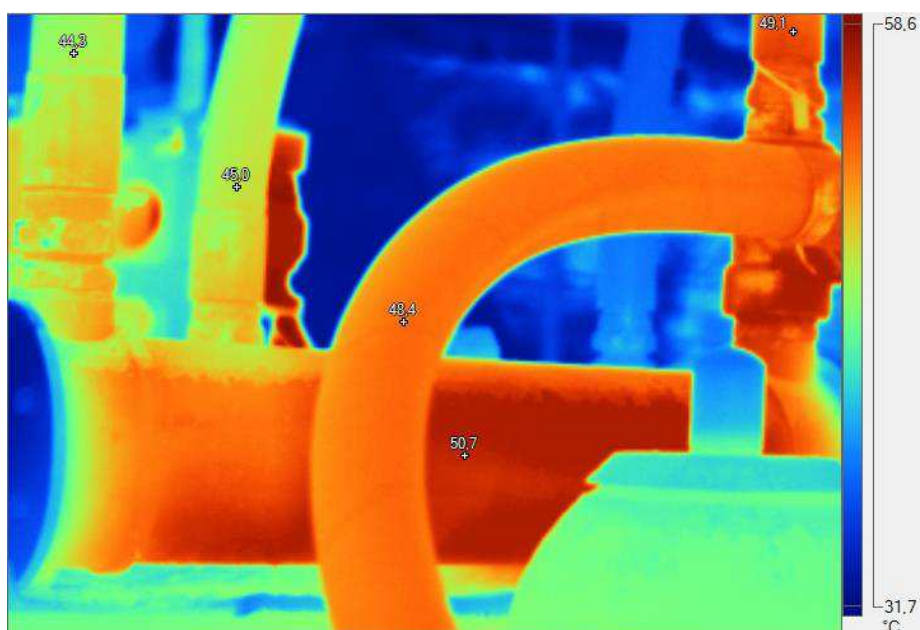


Obr. 19: Termovizní snímek výměníku u stroje Isola V - viditelné záření – voda

Odražená zdánlivá teplota	36,8 °C
Emisivita	0,96
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	37,8 °C
Relativní vlhkost	62 %
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s ⁻¹
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 1m

Tab. 23: Parametry u termovizního měření – Isola V – voda

Vstupní teplota vody: 28,9 °C
Výstupní teplota vody: 36,3 °C
Teplota na plášti výměníku: 51,7 °C



Obr. 20: Termovizní snímek výměníku u stroje Isola V - infračervené záření - olej



Obr. 21: Termovizní snímek výměníku u stroje Isola V - viditelné záření - olej

Odražená zdánlivá teplota	36,8°C
Emisivita	0,96
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	37,8°C
Relativní vlhkost	62%
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s ⁻¹
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 1m

Tab. 24: Parametry u termovizního měření – Isola V – olej

Vstupní teplota oleje: 48,4 °C
Výstupní teplota oleje: 44,3 °C
Teplota na plášti výměníku: 50,7 °C

7.3 Závěr termovizního měření

Na základě naměřených teplot se dá usoudit, že chlazení je u stroje Isola β neefektivní. Výstupní teplota oleje je prakticky totožná se vstupní teplotou. To může být zapříčiněno buď malým průtokem ventilu na vodním okruhu, nebo zanesením tohoto okruhu vodním kamenem.

Chladicí systém u stroje Isola V pracuje efektivněji, než v případě stroje Isola β. Už vstupní teplota vody je znatelně nižší. Na základě dodaných informací proběhla u tohoto stroje před časem inspekce chladicího okruhu s následnou instalací ventilů s větším objemovým průtokem.

Přestože termodiagnostika výměníku na hydraulické jednotce prokázala jeho sníženou efektivnost u stroje Isola β, tak žádná z naměřených hodnot nepoukázala na přílišné teplotní přetěžování hydraulického oleje. Místem, kde patrně dochází ke skokovému přehřátí oleje, jsou pak nadále ony pomocné hydraulické válce.

8 Závěr

V této práci jsem provedl komplexní tribotechnickou diagnostiku hydraulických systémů gravitačních licích strojů Isola β a Isola V. Odběry olejů proběhly u obou strojů podle plánu, tj. každý druhý měsíc.

V rámci tribodiagnostického měření jsem sledoval vývoj stěžejních parametrů u olejů odebraných z jednotlivých strojů. Jednalo se o obsah vody, číslo kyselosti, kód čistoty, kinematickou viskozitu, FTIR analýzu a koncentraci prvků pomocí rentgenového spektrometru.

Stroj Isola β je po technické stránce v pořádku. Měření rentgenovým spektrometrem neprokázalo zvýšenou koncentraci otěrových kovů. Vzorky olejů ze stroje Isola β sice vykazovaly lepší parametry, než v případě stroje Isola V, ale nebyly vyhovující z hlediska většiny doporučených hodnot. Problematické bylo zejména číslo celkové kyselosti a množství mechanických nečistot. Olej ve stroji je tedy kontaminovaný a s největší pravděpodobností dochází k jeho přehřívání. Pomocí měření termovizní kamerou jsem detekoval, že problém s přehříváním se netýká samotné hydraulické jednotky, respektive jejího tepelného výměníku. Olej ve stroji je skokově přetěžován vlivem častého lokálního přehřívání v pomocných hydraulických válcích. **Doporučuji výměnu kompletní olejové náplně.** Rovněž doporučuji instalaci prvků, které by zamezily sálání tepla na hydraulické prvky od licí formy. Ideálním řešením by v tomto případě byly tepelné štíty. Levnější alternativou pak mohou být speciální termo-reflexní fólie. V neposlední řadě je vhodné věnovat větší péči chladicímu systému hydraulické jednotky. Je nutné ho čistit, vyměňovat filtry a udržovat ho v dobrém provozním stavu.

Technický stav stroje Isola V je rovněž vyhovující. Ani v tomto případě měření rentgenovým spektrometrem nepoukazovalo na zvýšenou koncentraci otěrových kovů. Nicméně olejová náplň v tomto stroji je ve velmi špatném stavu. Všechny vzorky vykazovaly nevyhovující číslo celkové kyselosti, zvýšený hmotnostní obsah vody a velké množství mechanických nečistot. Obzvláště alarmující je fakt, že olejová náplň je v tomto stroji pouze v necelé polovině své deklarované životnosti. Termovizní kamerou jsem zjistil, že chladicí systém hydraulické jednotky stroje pracuje o něco efektivněji, než u druhého stroje. Obdobně jako v případě stroje Isola β **doporučuji výměnu celé olejové náplně** a instalaci prvků, které by zmenšily vliv sálání tepla na prvky hydraulického systému.

Seznam zdrojů

- [1] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. Technická diagnostika a spolehlivost. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN 80-7078-883-6.
- [2] ČADA, Radek. Technologie tváření a slévání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2274-7.
- [3] PAVLOK, Bohuslav. Hydraulické prvky a systémy. Díl 1, Kapaliny v hydraulických mechanismech, hydrostatické převodníky. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1999. ISBN 80-7078-620-5.
- [4] Conversion and compatibility of fire-resistant fluids [online]. Dostupné z: <https://www.mobil.com/en/industrial/lubricant-expertise/resources/fire-resistant-fluids-conversion-and-compatibility>
- [5] Uživatelský a údržbářský manuál: HYDRAULICKÁ JEDNOTKA “CPMS 500 2x30”, GAUSS AUTOMAZIONE S.r.L.
- [6] *Aluminium Castings* [online]. Dostupné z: <http://www.qdthyh.com/products-26212-6768-item-98553.html>
- [7] Brembo - History [online]. Dostupné z: <http://www.brembo.com/en/company/about/history>
- [8] Firemní prezentace – Plant Presentation May 2014, Brembo Czech s.r.o.
- [9] Gravity casting line [online]. Dostupné z: <http://www.gaussautomazione.com/pagina.php?cod=367&lingua=eng>
- [10] Gravity die casting process [online]. Dostupné z: <https://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexicon/Encyclopedia/show/gravity-die-casting-process-3222/>
- [11] Gravitační lití [online]. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/gravitan-lit.html>
- [12] Výroba odlitků ze slitin hliníku [online] Dostupné z: <http://docplayer.cz/12533621-Vyroba-odlitku-ze-slitin-hliniku.html>
- [13] Diagnostika hydraulických olejov [online]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42011/diagnostika-hydraulickych-olejov.html>
- [14] Živostnost hydraulických olejů [online]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-1-2009/zivotnost-hydraulickych-oleju.html>
- [15] Hydraulic Fluids and Lubricants [online]. Dostupné z: <http://files.danfoss.com/documents/520L0463.pdf>

Seznam obrázků

Obr. 1: Uspořádání výrobního závodu Brembo Czech s.r.o.	14
Obr. 2: Výsledný produkt – hliníkový odlitek brzdového třmene	15
Obr. 3: Kovová trvalá forma	16
Obr. 4: Gravitační licí centrum od firmy Gauss Automatizione Srl	17
Obr. 5: Detail jednoho z pěti lisů na jednotce Isola β	18
Obr. 6: Popis hlavních částí hydraulické jednotky	20
Obr. 7: Popis hydraulické jednotky	31
Obr. 8: Jednorázová transparentní plastová vzorkovnice s objemem 250 ml	32
Obr. 9: Plnění vzorkovnice pomocí podtlakové odsávačky z hrdla nádrže	33
Obr. 10: Snímek filtru - referenční vzorek	40
Obr. 11: Snímky filtrů - Isola β	40
Obr. 12: Snímky filtrů - Isola V	40
Obr. 13: FTIR diagram u stroje Isola β	41
Obr. 14: FTIR diagram u stroje Isola V	42
Obr. 15: Diagram - výměník tepla	47
Obr. 16: Termovizní snímek výměníku tepla u stroje Isola β – infračervené záření	48
Obr. 17: Termovizní snímek výměníku tepla u stroje Isola β – viditelné záření	48
Obr. 18: Termovizní snímek výměníku u stroje Isola V - infračervené záření - voda	49
Obr. 19: Termovizní snímek výměníku u stroje Isola V - viditelné záření – voda	49
Obr. 20: Termovizní snímek výměníku u stroje Isola V - infračervené záření - olej	50
Obr. 21: Termovizní snímek výměníku u stroje Isola V - viditelné záření - olej	50

Seznam tabulek

Tab. 1: Intervaly výměny a údržby	21
Tab. 2: Třídy minerálních olejů	22
Tab. 3: Přehled a parametry těžkozápálních kapalin	26
Tab. 4: Kinematická viskozita u stroje Isola β	34
Tab. 5: Kinematická viskozita u stroje Isola V	34
Tab. 6: Obsah vody u referenčního vzorku	35
Tab. 7: Obsah vody u stroje Isola β	35
Tab. 8: Obsah vody u stroje Isola V	35
Tab. 9: Číslo celkové kyselosti u referenčního vzorku	36
Tab. 10: Číslo celkové kyselosti u stroje Isola β	36
Tab. 11: Číslo celkové kyselosti u stroje Isola V	37
Tab. 12: Kód čistoty podle ČSN ISO 4406/99 u referenčního vzorku	37
Tab. 13: Kód čistoty podle ČSN ISO 4406/99 u stroje Isola β	38
Tab. 14: Kód čistoty podle ČSN ISO 4406/99 u stroje Isola V	38
Tab. 15: Kód čistoty podle NAS 1638 u referenčního vzorku	39
Tab. 16: Kód čistoty podle NAS 1638 u stroje Isola β	39
Tab. 17: Kód čistoty podle NAS 1638 u stroje Isola V	39
Tab. 18: Koncentrace otěrových prvků u stroje Isola β	43
Tab. 19: Koncentrace prvků příslušících aditivům u stroje Isola β	44
Tab. 20: Koncentrace otěrových prvků u stroje Isola V	45
Tab. 21: Koncentrace prvků příslušících aditivům u stroje Isola V	45
Tab. 22: Parametry u termovizního měření – Isola β	48
Tab. 23: Parametry u termovizního měření – Isola V – voda	50
Tab. 24: Parametry u termovizního měření – Isola V – olej	51

Seznam příloh

Příloha 1	-	Zpráva z měření – ISOLA B_21.12.2017
Příloha 2	-	Zpráva z měření – ISOLA B_22.2.2018
Příloha 3	-	Zpráva z měření – ISOLA B_25.4.2018
Příloha 4	-	Zpráva z měření – ISOLA V_21.12.2017
Příloha 5	-	Zpráva z měření – ISOLA V_22.2.2018
Příloha 6	-	Zpráva z měření – ISOLA V_25.4.2018
Příloha 7	-	Zpráva z měření – REFERENČNÍ VZOREK
Příloha 8	-	Produktový list – Plantoflux 68-AT-S
Příloha 9	-	Vlastnosti stroje a charakteristiky prostředí CPMS 500 2X30

ISOLA β

VZOREK

Číslo	
Typ oleje	hydraulický
Název	Fuchs Platnoflux 68-AT-S

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ

Název	Isola	Specifikace DIN	
Typ-číslo stroje	Beta	Specifikace ISO	VG 68
výrobní číslo		Specifikace SAE	
Strojní uzel	Hydraulický obvod	Jiná specifikace	
Množství provozní náplně	600l	Místo odběru	Hrdlo
Doba provozu od posl. výměny		Dodal:	Š.PRAVDA
Doba provozu celkem		Datum převzetí	
V průběhu provozu doplněno		navážka fitru (ml)	25
		Datum vypracování	21.12.2017

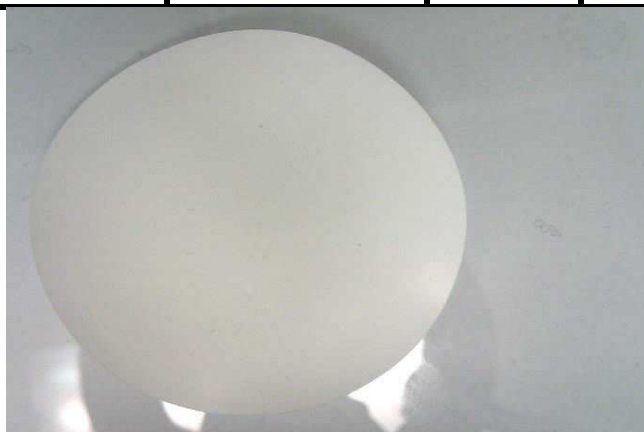
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	66,9
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		2	2,5	-
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,05	0,06	0,04
Mechanické nečistoty	mg/100cm ³	ČSN 65 6220		20	50	-
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	15/14/12
Kód čistoty	-	NAS 1638		8	9	7

Prvková analýza ED-XRF

			výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika	10	30	10,3
obsah Cu			15	25	5,9
obsah Cr			12,5	20	0,9
obsah Sn			10	30	< 3
obsah Si			20	30	< 1
obsah Pb			12,5	20	< 0,1

Aditiva, degradace

				hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika	3785	3557
obsah P			179	183,6
obsah Na			1852	1855
obsah Zn			1,3	22,9
obsah Ca			< 10	< 10



ISOLA β

VZOREK

Číslo	
Typ oleje	hydraulický
Název	Fuchs Platnoflux 68-AT-S

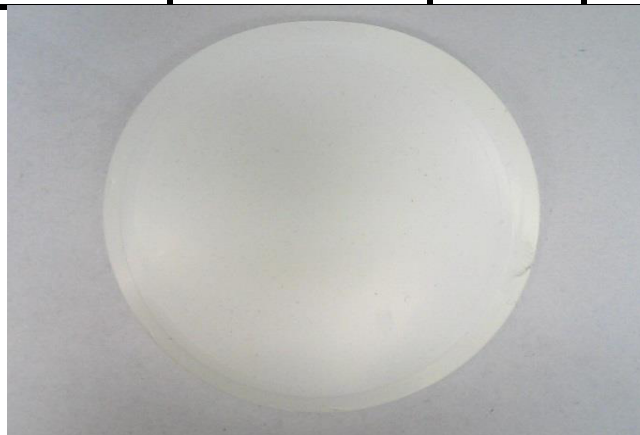
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ

Název	Isola	Specifikace DIN	
Typ-číslo stroje	Beta	Specifikace ISO	VG 68
výrobní číslo		Specifikace SAE	
Strojní uzel	Hydraulický obvod	Jiná specifikace	
Množství provozní náplně	600l	Místo odběru	Přítok
Doba provozu od posl. výměny		Dodal:	Š.PRAVDA
Doba provozu celkem		navážka fitru (ml)	25
V průběhu provozu doplněno		Datum vypracování	22.2.2018

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	.
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	68
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		2	2,5	2,96
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,05	0,06	0,05
Mechanické nečistoty	mg/100cm ³	ČSN 65 6220		20	50	-
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	16/15/14
Kód čistoty	-	NAS 1638		8	9	9

Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	9
obsah Cu				15	25	6,7
obsah Cr				12,5	20	2,3
obsah Sn				10	30	< 3
obsah Si				20	30	< 1
obsah Pb				12,5	20	0,6

Aditiva, degradace					hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika		3785	3626
obsah P				179	184,4
obsah Na				1852	< 1005
obsah Zn				1,3	23,3
obsah Ca				< 10	< 10



ISOLA β

VZOREK

Číslo	
Typ oleje	hydraulický
Název	Fuchs Platnoflux 68-AT-S

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ

Název	Isola	Specifikace DIN	
Typ-číslo stroje	Beta	Specifikace ISO	VG 68
výrobní číslo		Specifikace SAE	
Strojní uzel	Hydraulický obvod	Jiná specifikace	
Množství provozní náplně	600l	Místo odběru	Hrdlo
Doba provozu od posl. výměny		Dodal:	Š.PRAVDA
Doba provozu celkem		navážka fitru (ml)	25
V průběhu provozu doplněno		Datum vypracování	25.4.2018

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	68,8
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		2	2,5	-
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,05	0,06	0,05
Mechanické nečistoty	mg/100cm ³	ČSN 65 6220		20	50	-
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	17/16/12
Kód čistoty	-	NAS 1638		8	9	9

Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	10,4
obsah Cu				15	25	7,8
obsah Cr				12,5	20	4,7
obsah Sn				10	30	< 3
obsah Si				20	30	< 1
obsah Pb				12,5	20	0,4

Aditiva, degradace					hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika		3785	3631
obsah P				179	186,2
obsah Na				1852	< 1005
obsah Zn				1,3	26,9
obsah Ca				< 10	< 10



ISOLA V

VZOREK

Číslo	
Typ oleje	hydraulický
Název	Fuchs Platnoflux 68-AT-S

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ

Název	Isola	Specifikace DIN	
Typ-číslo stroje	V	Specifikace ISO	VG 68
výrobní číslo		Specifikace SAE	
Strojní uzel	Hydraulický obvod	Jiná specifikace	
Množství provozní náplně	600l	Místo odběru	Hrdlo
Doba provozu od posl. výměny		Dodal:	Š.PRAVDA
Doba provozu celkem		Datum převzetí	
V průběhu provozu doplněno		navážka fitru (ml)	25
		Datum vypracování	21.12.2017

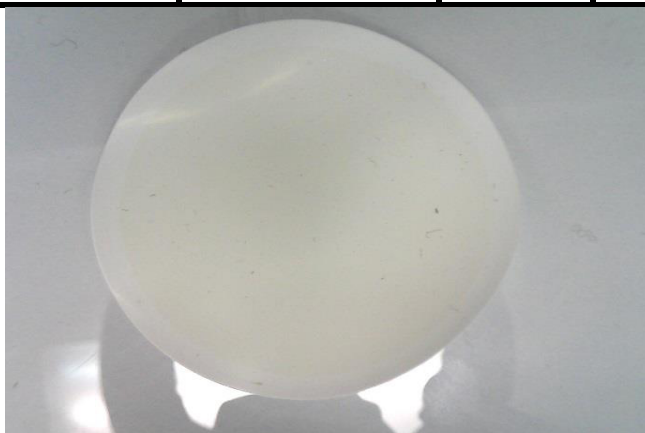
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	69,5
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		2	2,5	-
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,05	0,06	0,06
Mechanické nečistoty	mg/100cm ³	ČSN 65 6220		20	50	-
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	18/17/15
Kód čistoty	-	NAS 1638		8	9	9

Prvková analýza ED-XRF

			výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika	10	30	38,5
obsah Cu			15	25	6,1
obsah Cr			12,5	20	1,6
obsah Sn			10	30	< 3
obsah Si			20	30	< 1
obsah Pb			12,5	20	0,7

Aditiva, degradace

				hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika	3785	3818
obsah P			179	126
obsah Na			1852	1669
obsah Zn			1,3	26,2
obsah Ca			< 10	< 10



ISOLA V

VZOREK

Číslo	
Typ oleje	hydraulický
Název	Fuchs Platnoflux 68-AT-S

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ

Název	Isola	Specifikace DIN	
Typ-číslo stroje	V	Specifikace ISO	VG 68
výrobní číslo		Specifikace SAE	
Strojní uzel	Hydraulický obvod	Jiná specifikace	
Množství provozní náplně	600l	Místo odběru	Přítok
Doba provozu od posl. výměny		Dodal:	Š.PRAVDA
Doba provozu celkem		Datum převzetí	
V průběhu provozu doplněno		navážka fitru (ml)	25
		Datum vypracování	22.2.2018

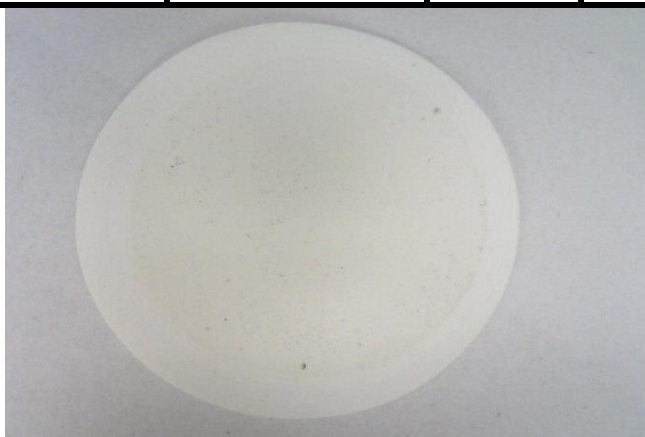
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	68
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		2	2,5	2,8
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,05	0,06	0,06
Mechanické nečistoty	mg/100cm ³	ČSN 65 6220		20	50	-
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	17/16/15
Kód čistoty	-	NAS 1638		8	9	11

Prvková analýza ED-XRF

			výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika	10	30	11,5
obsah Cu			15	25	5,2
obsah Cr			12,5	20	0,8
obsah Sn			10	30	< 3
obsah Si			20	30	111,7
obsah Pb			12,5	20	< 0,1

Aditiva, degradace

				hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika	3785	3995
obsah P			179	171,2
obsah Na			1852	< 1005
obsah Zn			1,3	14,1
obsah Ca			< 10	< 10



ISOLA V

VZOREK

Číslo	
Typ oleje	hydraulický
Název	Fuchs Platnoflux 68-AT-S

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ

Název	Isola	Specifikace DIN	
Typ-číslo stroje	V	Specifikace ISO	VG 68
výrobní číslo		Specifikace SAE	
Strojní uzel	Hydraulický obvod	Jiná specifikace	
Množství provozní náplně	600l	Místo odběru	Hrdlo
Doba provozu od posl. výměny		Dodal:	Š.PRAVDA
Doba provozu celkem		Datum převzetí	
V průběhu provozu doplněno		navážka fitru (ml)	25
		Datum vypracování	25.4.2018

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	67,9
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		2	2,5	4,1
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,05	0,06	0,06
Mechanické nečistoty	mg/100cm ³	ČSN 65 6220		20	50	-
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	17/17/14
Kód čistoty	-	NAS 1638		8	9	9

Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	7
obsah Cu				15	25	4,7
obsah Cr				12,5	20	6,6
obsah Sn				10	30	< 3
obsah Si				20	30	< 1
obsah Pb				12,5	20	< 1

Aditiva, degradace					hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika		3785	3905
obsah P				179	150,2
obsah Na				1852	1797
obsah Zn				1,3	11,7
obsah Ca				< 10	< 10



Referenční vzorek			VZOREK			
			Číslo			
			Typ oleje		hydraulický	
			Název Fuchs Platnoflux 68-AT-S			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN			
Název			Specifikace ISO		VG 68	
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru			
Množství provozní náplně			Dodal:		Š.PRAVDA	
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		25	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		21.12.2017	
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		2	2,5	1,2
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,05	0,06	0,04
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	-
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		17/15/12	18/16/13	13/13/11
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	6
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	< 1
obsah Cu				15	25	3,1
obsah Cr				12,5	20	0
obsah Sn				10	30	< 3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,4
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika		3785		3785
obsah P				179		179
obsah Na				1852		1852
obsah Zn				1,3		1,3
obsah Ca				< 10		< 10





Produkt- I N F O R M A C E

PLANTOFLUX AT-S - řada

PI 4-1231

Obtížně vznětlivé hydraulické kapaliny typu HFDU

Popis

Produkty řady PLANTOFLUX-AT-S jsou obtížně vznětlivé hydraulické kapaliny typu HFDU odpovídající DIN 51 502, případně ISO 6743.

Neobsahují ropný olej ani vodu.

Hydraulické kapaliny řady PLANTOFLUX-AT-S jsou formulovány na bázi syntetických esterů a speciálních přísad. Kapaliny řady PLANTOFLUX-AT-S mají ve srovnání s hydraulickými kapalinami na ropné bázi vyšší teplotu vzplanutí a zapálení a vyznačují se přirozeným vysokým stříhově stabilním viskozitním indexem. Jsou proto použitelné v širokém teplotním rozsahu aniž by docházelo ke změně viskozity.

Hydraulické kapaliny řady PLANTOFLUX-AT-S chrání před opotřebením a korozí. Nejsou toxické a jsou snášitelné s běžnými materiály a elastomery průmyslových hydraulických zařízení.

Specifikace

Kapaliny HFDU dle DIN 51 502 na bázi syntetických esterů.

Přednosti

- **obtížná vznětlivost,**
- **biologická odbouratelnost,**
- **vynikající ochrana před opotřebením,**
- **vynikající antikorozi ochrana,**
- **velmi příznivá viskozitně-teplotní závislost,**
- **velmi nízká pěnovost.**

Použití

Hydraulické kapaliny řady PLANTOFLUX-AT-S jsou vhodné pro všechna běžná použití v hydraulických systémech v bezprostřední blízkosti otevřeného ohně nebo žhavých kovů, jako například v ocelárnách, zařízeních na kontinuální lití, v koksovárnách, provozech tlakového lití a podobně.

Pro optimální účinnost by měly být kapaliny řady PLANTOFLUX-AT-S používány trvale v teplotním rozsahu maximálně do 70 °C, krátkodobě jsou přípustné teplotní špičky do 90 °C.

Charakteristika

Vlastnosti	Jednotka	PLANTOFLUX		Zkouška dle
		46-AT-S	68-AT-S	
Vzhled	-	čirá kapalina		-
Hustota při 15 °C	kg/m ³	916	929	DIN 51 757
Barva	ASTM-	1,5	2	DIN ISO 2049
Viskozita při 40	mm ² /s	49,7	68	DIN 51 562
Viskozita při 100 °C	mm ² /s	10,0	12,5	DIN 51 562
Viskozitní index	-	193	185	DIN ISO 2909
Bod tuhnutí	°C	- 23	- 22	DEIN ISO 3016
Pěnovost, postup 1 – III				
24 °C ihned / po 10 min	ml	0 /	0 /	ASTM D 892
93,5 °C ihned / po 10 min	ml	15 / 0	10 / 0	ASTM D 892
24 °C po 93,5 °C ihned / po 10 min	ml	0 / 0	0 / 0	ASTM D 892
Bod vzplanutí (COC)	°C	> 260	> 260	DIN ISO 2592
Zkouška FZG A/8,3/90	stupeň poškození	> 12	> 12	DIN 51 354-2
Zkušební osvědčení „Factory Mutual Approval“	-	vyhovuje	vyhovuje	-

Mechanické a technické vlastnosti stroje:

PŘIVÁDĚNÝ EL. PROUD	380-400V/50Hz
EL. NAPĚTÍ	24 DC
INSTALOVANÝ VÝKON	30 + 30 Kw
DOPRAVOVANÉ MNOŽSTVÍ HYDRAULICKÉ KAPALINY	117 + 117 l/min
PRŮTOK CHLADÍCÍ VODY	30 ÷ 35 l/min
TLAK CHLADÍCÍ VODY V HYD. JEDNOTCE STROJE	3 ÷ 5 Bar
MAXIMÁLNÍ PROVOZNÍ TLAK HYDRAULICKÉ KAPALINY	120Bar
OBJEM NÁDRŽE HYDRAULICKÉ JEDNOTKY.....	500 l
KAPALINA V HYDRAULICKÉ JEDNOTCE	Houghton COSMOLUBRIC HF/130
SMĚR ROTACE MOTORU HYDRAULICKÉ JEDNOTKY	VE SMĚRU HOD. RUČÍČEK
PROVOZNÍ TEPLOTA OLEJE	min. 7 (-2) °C max. 50 (+3) °C
SUCHÁ HMOTNOST HYDRAULICKÉ JEDNOTKY.....	1500 kg

Charakteristiky prostředí, ve kterém bude stroj provozován:

TEPLOTA	5 ÷ 40 °C
VLHKOST	5 ÷ 95% (bez kondensátu)
MAXIMÁLNÍ DOPORUČENÁ VÝŠKA	1500 m
VIBRACE	2g od 10 do 2000 Hz
NÁRAZY	15g
MAGNETICKÉ POLE	Podle UNI 10270 Ref. UNI EN 29283

(Zdroj: Uživatelský a údržbářský manuál: HYDRAULICKÁ JEDNOTKA "CPMS 500 2x30", GAUSS AUTOMAZIONE S.r.L.)